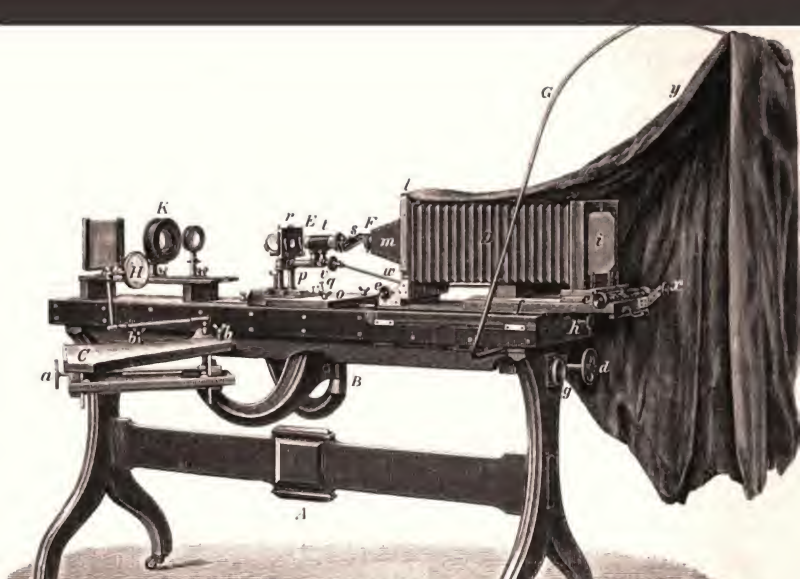
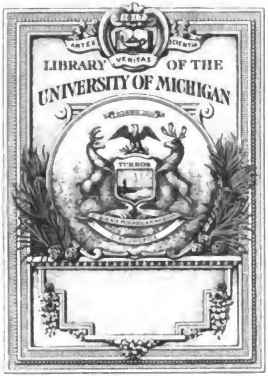


Mitteilungen der deutschen Materialprüfungsanstalten ...

Berlin (Germany). Materialprüfungsamt, Technische Hochschule Berlin. ...

Digitized by Google



RECEIVED IN EXCHANGE
FROM
United States
Bureau of Standards

Digitized by Google

TA
3
.P972
M51

TA
3
.P972
1887
Prussia. Materialprüfungsamt. Berlin-Dahlem.

Mittheilungen
aus den
Königlichen technischen Versuchsanstalten
zu Berlin.
Herausgegeben im Auftrage der Königlichen Aufsichts-Kommission.

Redacteur: Geheimer Bergrath Dr. **Wedding**,
Mitglied der Königl. Aufsichts-Kommission.

Ergänzungsheft I. **1887.**

Die

Festigkeitseigenschaften des Magnesiums

von

A. Martens,
Vorsteher der mechanisch-technischen Versuchsanstalt.

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1887.

Digitized by Google

TA
3
.P972
M51

Digitized by Google

General
Lueder
U.S. Re...gStandards
9-19-33
1387/Bd. 1-4

Die Festigkeitseigenschaften des Magnesiums.

Vom Vorsteher der Kgl. mechanisch-technischen Versuchsanstalt A. Martens.

(Hierzu Tafel I. bis III.)

Durch die Aluminium- und Magnesium-Fabrik in Bremen wurde der Versuchs-Anstalt der Auftrag ertheilt, das von ihr nach dem Grätzel'schen Verfahren erzeugte Magnesium in Bezug auf seine Festigkeitseigenschaften zu prüfen. Zu diesem Zwecke wurden

1) fünf Blöcke Magnesium von 60 × 60 mm Querschnitt und 1300 mm Länge, sowie
2) fünf Rundstäbe von 30 mm Durchmesser und 500 mm Länge

zur Verfügung gestellt, welche von dem Hörder Bergwerks- und Hütten-Verein zu Hörde ausgewalzt worden waren. Mit diesen Stücken sind die nachfolgenden Versuche ausgeführt worden:

a) fünf Biegeversuche bei 1 m Stützweite und in der Mitte angreifender Kraft, an den unter 1 aufgeführten Blöcken;
b) acht Druckversuche mit Würfeln von etwa 60 mm Seitenlänge, welche aus den Bruchenden der unter a geprüften Stäbe entnommen wurden;
c) fünf Zerreißversuche mit Rundstäben von der Normalform der Versuchs-Anstalt, welche aus den unter 2 aufgeführten Stäben entnommen wurden.

Wegen des großen Interesses, welches die mit dem immerhin neuen und eigenartigen Constructionsmaterial gewonnenen Festigkeitsergebnisse an sich gewähren und mehr noch, weil diese Ergebnisse dazu beitragen dürften, die Kenntniß der Festigkeitseigenschaften der Materialien überhaupt nach verschiedenen Richtungen hin zu erweitern, sollen die Versuche im Nachstehenden ausführlich besprochen werden.

A. Biegungsversuche.

Die Biegungsversuche sind an den roh gewalzten unbearbeiteten Stücken von 60 × 60 mm Querschnitt mit der Werder-Maschine bei 1 m Stützweite, unter Anwendung der Bauschinger'schen Rollenfühlhebel in der bekannten Anordnung*) ausgeführt worden.

Die Versuchsstücke zeigten vielfach sehr starke aufgewalzte Schiefer und waren auch zumeist windschief, so daß an den Berührungsstellen der Blöcke mit den Auflagerollen Stahlkeile unterlegt werden mußten, bis die Flächen bei der Anfangsbelastung, sowohl auf den beiden Rollen, als auch an der Schneide des Druckwagens zur vollen Unterstützung kamen. Die Kraftäußerung der Maschine wurde auf den Probebalken unter Benutzung des breiten Einsatzes für den Druckwagen übertragen, so daß für die Versuchsausführung die in der nebenstehenden Fig. 1 gegebenen Abmessungen maßgebend sind. Bei den Versuchen ist mit Belastungsstufen von 0,1 t vorangegangen. Bei Stab Nr. 1 wurde bis zum Eintritt des „Fließens" mit derjenigen Geschwindigkeit gearbeitet, welche sich durch die unmittelbare Aufeinanderfolge der Handhabung der Maschine und der Ablesungen an den Apparaten von selbst er-

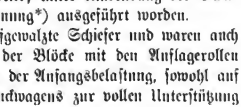


Fig. 1.

*) Diese Einrichtungen sind ausführlich beschrieben in: „Mittheilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium der Königlichen technischen Hochschule in München." Heft 1. 1873.

Digitized by Google

giebt. Bei den Versuchen mit den Stäben Nr. 2 bis 5 hingegen wurde nach der Uhr gearbeitet und die Belastung in der Regel alle 2 Minuten gewechselt.

Bei den Versuchen in der Versuchsanstalt wird der Regel nach folgender Gang innegehalten.

Nach dem Eintritt des Fließens bleibt sowohl bei den Biegungs-, als auch bei den Zerreißversuchen das Zuflußventil zur Maschine geöffnet. Es wird so gehandhabt, daß der durch einen selbstthätigen, von der städtischen Wasserleitung getriebenen Druckerzeuger gelieferte Wasserdruck den Kolben der Maschine mit einer stetigen, jedesmal ermittelten, beziehentlich vorgeschriebenen Geschwindigkeit bewegt wird. Bei diesem Vorgehen wird dann das Belastungsgewicht auf der Waage nach bestimmten vorgeschriebenen Stufen jedesmal vermehrt, sobald der Waagehebel zum Einspielen kommt, was sowohl an der Blase der auf dem Waagebalken befindlichen Wasserwaage, als auch an einem elektrischen Glockensignal scharf erkannt wird. Letzteres wird durch eine Doppelglocke gegeben, deren eine Glocke ertönt, wenn der durch die Waage beherrschte Contact geöffnet ist, während die andere beim Contactschluß erschallt; hierdurch ist dem Beobachter von jedem Platz aus ein recht scharfes Erkennen des Einspielens des Waagehebels ermöglicht. Die zur Anwendung gebrachten Geschwindigkeiten sind in den Protokollen verzeichnet.

In Tabelle 1 (S. 3) ist das vollständige Versuchsprotokoll für den Stab Nr. 4 zum Abdruck gebracht, um an demselben die Art der Versuchsausführung und der Aufzeichnung bekannt zu geben, wie sie in der Versuchs-Anstalt bei Biegungsversuchen in der Regel stattfindet. In Tabelle 2 (S. 4—7) sind dann in abgekürzter Form die Versuchsendergebnisse für alle fünf Stäbe mit den während der Versuche vom Beobachter niedergeschriebenen Bemerkungen enthalten. Die Biegungsversuche sind vom Assistenten, Ingenieur Kirsch, ausgeführt worden.

Die Zahlenwerthe der Tabelle 2 sind auf Tafel I in Fig. 1 bis 3 als Schaulinien wiedergegeben.

In Fig. 1 stellt die mit A bezeichnete Linien-Gruppe die für verschiedene Belastungen mit den Stäben 1 bis 5 erzielten Durchbiegungen, gemessen in der Balkenmitte, dar. Man erkennt aus derselben zunächst, daß die Versuchsergebnisse der 5 Versuche befriedigende Uebereinstimmung zeigen. Verfolgt man den allgemeinen Verlauf der Linien, so ergiebt sich, wie ja auch aus Tabelle 2 ohne Weiteres zu erkennen ist, daß von einer proportionalen Biegung, also auch von einer „Proportionalitätsgrenze" beim Magnesium keine Rede sein kann. Die Linienzüge zeigen von vornherein eine auch in dem kleinen Maßstab von Fig. 1 deutlich bemerkbare Krümmung, die bei der im 10fachen Maßstabe gezeichneten Fig. 2 ganz deutlich hervortritt. Das Magnesium verhält sich also in dieser Beziehung ganz ähnlich wie Gußeisen. Ebenso wie dieses, zeigt es schon von der ersten Inanspruchnahme an mit den Feinmeßapparaten deutlich bemerkbare, bleibende Durchbiegungen, wie aus den beiden stark ausgezogenen Schaulinien C und D, Fig. 2, zu erkennen ist, bei welchen die Entlastungen durch die nach den Punkten e_{200}, e_{400}, e_{600} u. s. w. gezogenen, feinpunktirten Linien angedeutet sind. Das Maß der Entfernung der Punkte e_x von der Nullinie giebt die unter den durch den Index angegebenen Belastungen erzielten bleibenden Durchbiegungen an. (Bemerkt sei hierzu, daß die Nullinien für die Liniengruppen A und B, Fig. 1, sowie C und D, Fig. 2, gegeneinander verschoben sind, um die Klarheit der Zeichnung zu wahren. Der gleiche Kunstgriff ist auch in mehreren der anderen Figuren gebraucht, wie man ohne Weiteres erkennen wird.) Um dem Leser zugleich ein Bild über die Abhängigkeit der Größe der bleibenden, sowie der elastischen Durchbiegung von der vorauf gegangenen Belastung zu geben, sind in Fig. 2 in den Liniengruppen C und D die mit den Stäben 1 und 2 gewonnenen Versuchsergebnisse vollständig zur Anschauung gebracht, und zwar ergeben die an den Enden mit c und d bezeichneten Linien die soeben

(Fortsetzung auf S. 8.)

Digitized by Google

Tabelle 1.

Prüfung eines Balkens auf Biegungsfestigkeit.

Länge: 1200 mm. — Gewicht: 8,23 kg. — Stützweite: 1000 mm. — b = 60; 60; 60 mm. — b = 60; 60; 60 mm.

Belastung: Gesammt-Ablesung am Apparat	kg	kg pro qmm	Ablesungen an den Zeigern: II*) in der Mitte	I*) rechts	III*) links	Ablesungen der Zeiger: Summe	halbe Summe	Durchbiegung: gesammt	Differenz	Bemerkungen
						a + b	$\frac{a+b}{2}$			*) App. I, II, III: 1:50.
h. m.	kg		1/5 mm	1/5 mm	1/5 mm			1/5 mm	1/5 mm	
12. 52	100		0,28	15,23	14,73					**Lage und Beschaffenheit.**
			3,00	0,16	0,16					Die Bezeichnung A 805.4 liegt
54	**200**		3,28	15,07	14,89	0,32	0,16	2,84		in der oberen, wagerechten
			1,64	0,14	0,12					Ebene, vom Kolben der
56	100		1,92	15,09	14,85	0,26	0,13	1,51		Maschine aus aufrecht ge-
			3,00	0,17	0,18					lesen. Der Balken ist wind-
58	200		3,28	15,06	14,91	0,35	0,18	2,82	1,31	schief; er ist deswegen an
			6,15	0,30	0,36					der gefährlichen Stelle (unter
1. 0	300		6,43	14,93	15,09	0,66	0,33	5,82	3,00	der Mittelschneide) zum
			9,35	0,20	0,54					völligen Anliegen gebracht.
1. 2	**400**		9,83	15,03	15,27	0,71	0,37	9,18	3,36	An den Auflagern wurden
			2,85	0,21	0,21					Stahlbleche unterfüttert, so
4	100		3,13	15,02	14,94	0,42	0,21	2,64		daß bei der Anfangslast alle
			10,16	0,30	0,24					drei Punkte zum völligen
6	400		10,44	14,93	15,27	0,84	0,42	9,74	7,10	Aufliegen kamen. Der Stab
			13,56	0,31	0,65					zeigt wenig Walzschiefer.
8	500		13,84	14,92	15,38	0,96	0,48	13,08	3,34	Knistern von Anfang an.
			17,97	0,33	0,79					
10	**600**		18,25	14,90	15,52	1,12	0,56	17,41	4,33	
			4,72	0,29	0,52					
12	100		5,00	14,94	15,05	0,61	0,30	4,42		
			18,30	0,17	1,00					
14	600		18,59	15,06	15,73	1,17	0,59	17,72	13,30	
			23,25	0,18	1,09					
16	700		23,53	15,05	15,82	1,27	0,64	22,61	4,89	
			30,42	0,16	1,19					
18	**800**		30,70	15,07	15,92	1,35	0,68	29,74	7,13	
			8,02	0,18	0,59					
20	100		8,30	15,05	15,32	0,77	0,39	7,63		
			30,09	0,16	1,20					
22	800		30,37	15,07	15,93	1,36	0,68	29,41	21,78	
			39,64	0,10	1,27					
24	900		39,92	15,13	16,00	1,37	0,69	38,95	9,54	
			59,57	0,07	1,36					
26	**1000**		59,85	15,30	16,09	1,43	0,72	58,85	19,90	Fließen.
			24,54	0,04	0,78					
28	100		4,82	15,19	15,40	0,74	0,37	24,17		Apparate abgenommen.
			V**)	Differenzen						Apparat V wird eingestellt.
			1/5 mm	1/5 mm				1/5 mm	1/5 mm	**) App. V: 1:10.
	100		0,12			Bleibend		4,83		(= 1/5 . 24,17)
	1000		7,30	7,18				12,01	(7,18)	Von hier ab mit 3,0 mm/min durchgebogen.
	1100		12,40	5,10				17,11	5,10	
	1200		20,00	7,60				24,71	7,60	Während des Fließens deutlicher Knoblauchgeruch.
	1300		28,00	8,00				32,71	8,00	
	1400		36,50	8,50				41,21	8,50	
	1500		45,00	8,50				49,71	8,50	
	1600		54,40	9,40				59,11	9,40	
	1700		64,50	10,10				69,21	10,1	Bruchquerschnitt
	1800		74,00	9,50				78,71	9,5	63
	1900		84,00	10,00				88,71	10,0	60,5 / 60,5
	2000		94,30	10,30				99,01	10,3	59
	2100		105,50	11,20				110,21	11,2	
	2200		116,50	11,00				121,21	11,0	
	2300		131,50	15,00				136,21	15,0	
	2300	16,0	Bruchlast			Nach Bruch		138,00	bleibd	Bruchstelle c. 4 cm aus der Mitte.

Maschine: A. Beobachter: gez. Kirsch.

Digitized by Google

Tabelle 2.

Zusammenstellung der Ergebnisse von Biegeversuchen mit Magnesium.

Den Versuchen haben Stäbe vom Querschnitte 60 . 60 mm bei 1 m Freilage zu Grunde gelegen.

Belastung in der Stabmitte	Gesammt-Biegung	Unterschiede für je 100 kg Zuwachs	Bleibende Biegung bei Entlastung	Elastische Biegung bei Entlastung	Bemerkungen zu der Versuchs-Ausführung
kg	mm	mm	mm	mm	
Stab Nr. 1. Gewicht 8,26 kg. Körperinhalt 0,6 . 0,6 . 13 = 4,68 cbdm; specifisches Gewicht = 1,76.					
100	0,00				Biegung nach 1 Minute: Gesammt-Biegung mm / Unterschied mm min
200	0,186	0,486			
100	0,270	—	0,270	0,216	
200	0,530	0,260		(0,8)*)	
100	0,284	—	0,284	0,246	
200	0,502	0,218		(0,87)	
100	0,270	—	0,270	0,232	
200	0,518	0,248		(0,86)	
300	1,050	0,532			1,042 — 0,008
100	0,404	—	0,404	0,646	
				(1,60)	
300	1,054	—			1,058 + 4
100	0,410	—	0,410	0,644	
300	1,072	—		(1,57)	
400	1,712	0,640			
100	0,516		0,516	1,196	
400	1,724	—		(2,32)	1,722 — 2
500	2,400	0,676			2,408 + 8
100	0,654		0,654	1,746	
500	2,490	—		(2,67)	
600	3,244	0,754			3,248 + 4
700	4,192	0,948			4,216 + 24
800	5,496	1,304			5,530 + 34
900	7,352	1,856			7,416 + 64
1000	10,826	3,474			10,988 + 162
100	4,492		4,492	6,334	
1000	10,992	—		(1,41)	11,018 + 0,26
	15,912	4,920			16,244 + 332
1100*)	16,24				
1200	22,79	6,55			
1300	30,09	7,30			
1400	38,15	8,06			
100	26,51	—	26,51	11,64	
1400**)	38,91	—		(0,44)	
1500	45,30	6,39			
1600***)	54,70	9,40			
1700	64,40	9,70			

Die Bezeichnung A. 805 . 1 liegt in der oberen wagerechten Ebene, vom Kolben der Maschine aus aufrecht gelesen. Der Balken ist windschief; er ist deswegen an der gefährlichen Stelle (unter der Mittelschneide) zum völligen Anliegen gebracht. An den Auflagern werden Stahlbleche unterfüttert, so daß bei der Anfangslast alle drei Punkte zum völligen Aufliegen kamen. Der Stab zeigt zahlreiche Walzschiefer, ungarte und abgesplitterte Stellen.

Die Apparate wurden neu eingestellt.

Knistern.

Knistern.

Apparate neu eingestellt.

Bei der Messung mußte ein Zirkel zu Hülfe genommen werden, weil der Zeiger über die Scala hinaus gegangen war.

Beim Vorgehen auf 1100 reichte die Scala nicht aus; deswegen wurde das Ventil zeitweise geschlossen und der Zeiger auf den Scalen-Anfang zurückgestellt.

*) Apparate I—III werden durch Apparat V (1 : 10) ersetzt.

Von 1100 kg ab bleibt das Ventil geöffnet; es wird mit etwa 3 $\frac{mm}{min}$ Kolbenweg gleichmäßig durchgebogen. Belastungsstufen 50 kg; bei je 100 kg abgelesen.

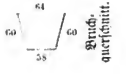
**) Bei 1400 kg unaufhörliches Knistern.

***) Bei 1600 kg reicht die Scala nicht aus; Zeiger wird, wie oben, zurückgedreht.

*) Die eingeklammerten Zahlen geben das Verhältniß zwischen elastischer und bleibender Durchbiegung an.

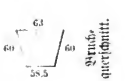
Digitized by Google

Belastung in der Stabmitte kg	Gesammt-Biegung mm	Unterschiede für je 100 kg Zuwachs mm	Bleibende Biegung bei Entlastung mm	Elastische Biegung bei Entlastung mm	Bemerkungen zu der Versuchsausführung
1750*)	69,40				*) Inzwischen hat sich die Stützweite infolge der Biegung des Stabes und der Rundung der Auflager um 80 mm verkleinert.
100	54,71	—	54,71	14,69	
1750	71,31			(0,27)	
1800	72,81	8,41			
1850**)	75,31	—			**) Nach dem Einspielen von 1850 kg muß der Zeiger abermals zurückgestellt werden.
1900	80,81	8,00			
1950	86,31	—			
2000	89,81	9,00			
2050	95,31	—			
2100***)	99,31	9,51			***) Nach Einspielen von 2100 kg muß der Zeiger zurückgestellt werden.
2150	105,31	—			Knistern nicht mehr so laut wie anfangs.
2200	112,31	13,00			Zeiger nochmals zurückgestellt.
2250	116,31				
2300	121,01	8,70			
2350	127,71				
2400	133,01	12,60			
2450	140,71				Von hier ab bis zum Bruch noch schneller vorgegangen, nachdem Apparat V abgenommen war.
2850	Bruchlast		190,000	—	Zerstörung durch Aufreißen an der Zugseite. Die Druckstelle unter der Mittelschneide ist unmerklich eingedrückt.



Stab Nr. 2. Gewicht 8,22 kg; Körperinhalt 0,6 . 0,6 . 12,98 = 4,67 cdm; specifisches Gewicht = 1,76.

100	0,000				Der Balken ist windschief, deswegen wie bei Nr. 1 gelagert. Weniger Walzschiefer. Alle 2 Min. wird die Belastung gesteigert.
200	0,522	0,522			
100	0,268	—	0,268	0,254	
200	0,526	0,258		(0,95)	
300	1,210	0,484			
400	2,124	0,914			
100	0,716	—	0,716	1,408	
400	2,078			(1,96)	
500	3,060	0,982			
600	4,075	1,015			
100	1,322	—	1,322	2,753	
600	4,120			(2,08)	
700	5,340	1,220			Knistern beginnt.
800	7,088	1,748			
100	2,554	—	2,554	4,551	
800	7,068			(1,77)	Nach dem Einspielen von 800 wird der Mittelzeiger zurückgestellt.
900	9,132	2,064			
1000	12,304	3,172			
100	5,614	—	5,614	6,690	Apparate abgenommen und Apparat V aufgestellt. Von hier ab bleibt das Ventil geöffnet. Vorgehen gleichmäßig 3 $\frac{mm}{min}$.
1000	12,68			(1,19)	
1100	16,26	3,58			
1200	20,58	4,32			
1300	26,58	6,00			
1400	33,28	6,70			Zeiger zurückgestellt.
1500	40,58	7,60			
1600	49,18	8,30			
1700	57,78	8,60			Zeiger nochmals zurückgestellt.
1800	66,48	8,70			
1900	77,68	11,20			
2000	85,48*)	—			*) Ablesungsfehler V. — Zeiger nochmals zurückgestellt. Dann ohne Ablesungen bis auf **2500 kg** = **Maximallast** vorgegangen; bis zum Bruch fällt die Belastung auf 2100 kg. Der Bruch erfolgt durch Aufreißen auf der Zugseite plötzlich mit hellklingendem, nicht lautem Knacken.
2500					
2400	Bruchlast		122,0		



Digitized by Google

Belastung in der Stabmitte kg	Gesammt-Biegung mm	Unterschiede für je 100 kg Zuwachs mm	Bleibende Biegung bei Entlastung mm	Elastische Biegung bei Entlastung mm	Bemerkungen zu der Versuchsausführung
Stab Nr. 3. Gewicht 8,26 kg; Körperinhalt 0,6 . 0,6 . 13 = 4,68 cbdm; specifisches Gewicht = 1,76.					
100	0,00				
200	0,518	0,518			Lage und Beschaffenheit wie bei Stab Nr. 2.
100	0,238	—	0,238	0,280	
200	0,504	0,266		(1,15)	
300	1,152	0,648			
400	1,810	0,658			
100	0,494	—	0,494	1,316	
400	1,824	—		(2,67)	
500	2,528	0,704			
600	3,396	0,868			
100	0,902	—	0,902	2,494	
600	3,378	—		(2,77)	Beginn des Knisterns war nicht zu beobachten, da zu viel Geräusch im Raum war.
700	4,350	0,972			
800	5,676	1,326			
100	1,622	—	1,622	4,054	
800	5,722	—		(2,50)	
900	8,356	2,634			Zeiger zurückgestellt.
1000	11,962	3,606			Fließen beginnt. Apparat I—III abgenommen. Apparat V aufgestellt.
100	5,614	—	5,614	6,348	Von hier ab bleibt das Ventil geöffnet; es wird mit $3\ \frac{mm}{min}$ durchgebogen.
1000	12,13			(1,13)	
1100	16,51	4,38			
1200	22,31	5,80			
1300	29,21	6,90			
1400	37,21	8,00			
1500	44,51	7,30			
1600	53,61	9,10			
1700	62,51	8,90			
1800	71,61	9,10			
1900	81,31	9,70			
2000	93,11	11,80			
2100	100,61	7,50			
2200	111,01	10,40			Bei einer Durchbiegung von 121,2 mm tritt der Bruch ein.
2200	Bruchlast				

Querschnitt unter der Mittelschneide nach dem Bruch.

Stab Nr. 4. Gewicht 8,23 kg; Körperinhalt 0,6 . 0,6 . 13 = 4,68 cbdm; specifisches Gewicht = 1,76.					
100	0,000				Lage und Beschaffenheit wie bei Stab Nr. 2.
200	0,568	0,568			Knistern von Anfang an.
100	0,302	—	0,302	0,266	
200	0,564	0,262		(0,89)	
300	1,164	0,660			
400	1,836	0,672			
100	0,528	—	0,528	1,308	
400	1,948	—		(2,49)	
500	2,616	0,668			
600	3,482	0,866			
100	0,884	—	0,884	2,598	
600	5,544	—		(2,93)	
700	4,522	0,978			
800	5,948	1,476			
100	1,526	—	1,526	4,422	
800	5,882	—		(2,89)	
900	7,790	1,908			

Digitized by Google

Belastung in der Stabmitte kg	Gesammt-Biegung mm	Unterschiede für je 100 kg Zuwachs mm	Bleibende Biegung bei Entlastung mm	Elastische Biegung mm	Bemerkungen zu der Versuchsausführung
1000	11,770	3,980			**Fließen.** Apparate I—III abgenommen und Apparat V angesetzt.
100	4,834	—	4,834	6,936	Von hier ab bleibt das Ventil geöffnet; es wird mit
1000	12,01	—		(1,44)	3 $\frac{mm}{min}$ durchgebogen. Während des Fließens
1100	17,11	5,10			deutlicher Knoblauchgeruch.
1200	24,71	7,60			
1300	32,71	8,00			
1400	41,21	8,50			
1500	49,71	8,50			
1600	59,11	9,40			
1700	69,21	10,10			
1800	78,71	9,50			
1900	88,71	10,00			Bruchquerschnitt.
2000	99,01	10,30			
2100	110,21	10,20			
2200	121,21	11,00			
2300	136,21	15,00			
2300	Bruchlast		138,0		Bruchstelle 4 cm aus der Mitte.

Stab Nr. 5. Gewicht 8,25 kg; Körperinhalt 0,6 . 0,6 . 13 = 4,68 cbdm; specifisches Gewicht = 1,76.

100	0,000				Lage und Beschaffenheit wie bei Stab Nr. 2.
200	0,486	0,486			
100	0,276	—	0,276	0,210	
200	0,514	0,238		(0,76)	
300	1,182	0,668			
400	2,052	0,870			
100	0,718	—	0,718	1,334	
400	2,060	—		(1,86)	
500	2,928	0,868			
600	3,940	1,012			
100	1,212	—	1,212	2,728	
600	3,956			(2,26)	
700	5,120	1,164			
800	6,510	1,390			
100	2,136	—	2,136	4,374	
900	6,540	—		(2,05)	
000	8,040	1,500			
1800	10,296	2,256			Zeiger wurde zurückgestellt.
100	6,140	—	5,844	4,156	Apparate I—III abgenommen, Apparat V aufgestellt.
1000	12,97	—			Von hier ab bleibt das Ventil geöffnet; es wird mit
1100	15,77	2,80			3 $\frac{mm}{min}$ durchgebogen.
1200	20,47	4,70			
1300	26,97	6,50			
1400	33,47	6,50			
1500	41,37	7,90			
1600	49,97	8,60			
1700	58,97	9,00			
1800	68,47	9,50			
1900	77,97	9,50			
2000	88,47	10,50			
2100	98,97	10,50			
2200	109,97	11,00			
2300	119,97	10,00			
2400	132,97	13,00			
2500	146,97	14,00			
2600	161,97	15,00			Spannweite nur noch 920mm.
2700	180,97	19,00			Bruchquerschnitt.
2800	Bruchlast		206,0		

Digitized by Google

besprochenen Biegungsschaulinien mit den Entlastungen, während die mit c_1 d_1 bezeichneten Linien die Abhängigkeit der bleibenden und die Linien c_2, d_2 diejenige der elastischen Dehnung von der Größe der vorausgehenden Belastung derselben darstellen. Auch die Linien c_1, c_2 und d_1, d_2 zeigen von Anfang an eine stetige Krümmung. Vergleicht man die beiden zusammengehörigen Linien c_1 und c_2 oder d_1 und d_2 miteinander, so wird man finden, daß die Linien c_1 und d_1 anfangs einen steileren Verlauf haben als c_2 und d_2, sowie daß sie sich bei der Belastung von etwa 1000 bis 1200 kg beide durchschneiden; in diesen Punkten sind also elastische und bleibende Formänderung gleich groß. Das Verhältniß beider ändert sich im Verlauf des Versuches nach der stark punktirten Linie c_4 und d_4, und man bemerkt (namentlich beim Vergleich von Fig. 3), wie es anfangs mit steigender Belastung wächst, bei etwa 600 bis 700 kg seinen größten Werth $\left(\frac{d_2}{d_1} = 2{,}2 \text{ bis } 3{,}0\right)$ erreicht, bei etwa 1100 kg = 1 wird und von hier aus sich der Nullinie asymptotisch nähert. In Fig. 3, Linienguppen E, F, G, sind diese für das Material höchst charakteristischen Liniengruppen, bleibende und elastische Dehnung, sowie das Verhältniß beider für alle fünf Versuche zusammengetragen, um dem Leser ein Urtheil über die Größe der vorkommenden Abweichungen der einzelnen Versuchsreihen zu ermöglichen. Die einzelnen Linienzüge der Gruppen sind mit den Nummern des Probestabes bezeichnet, welchem sie angehören. Obwohl unzweifelhaft durch die eingezeichneten Verhältnißlinien, Gruppe G. Fig. 3, bestimmte Eigenschaften des Materials zum Ausdruck gebracht werden, soll doch davon Abstand genommen werden, hierüber Schlüsse zu ziehen, weil die bestehenden Gedanken zunächst reifen und an ähnlichen Untersuchungen mit anderen Materialien festere Gestalt gewinnen müssen.

Wurde weiter oben aus der allgemeinen Gestalt der Biegungs-Schaulinien bereits der Schluß gezogen, daß eine Proportionalitätsgrenze für Magnesium durch Biegungsversuche nicht festgestellt werden kann, so geht dies noch klarer aus der Darstellung der Biegungsunterschiede für je 100 kg Belastung hervor, wie sie in den Linien c_3, d_3 in Fig. 2 und in der Gruppe B. Fig. 1, gegeben sind. Wenn ein Material sich anfangs proportional der Belastung biegt, so müssen diese Linienzüge demgemäß parallel zur Nullinie sein, was hier nicht der Fall ist. Aus dem Verlauf der Liniengruppe B im Besonderen, sowie aus der Gestalt der Biegungsschaulinien in Gruppe A erkennt man, daß die „Fließgrenze" des Magnesiums beim Biegungsversuch ziemlich deutlich zum Ausdruck kommt; man wird sie nach Fig. 1 bei etwa 800 bis 900 kg Belastung und etwa 6 bis 8 mm Gesammtdurchbiegung festlegen können; genauer lassen sich diese Zahlen nicht geben. Es muß übrigens an dieser Stelle gegenüber dem in letzter Zeit mehrfach hervortretenden Unfug, der mit den bei Festigkeitsversuchen gefundenen Zahlen getrieben wird, darauf aufmerksam gemacht werden, daß es unmöglich ist, irgend eine der als charakteristisch geltenden Zahlenwerthe: Bruchgrenze, Bruchdehnung, Querschnittsverminderung, Streckgrenze, Streckdehnung, Proportionalitätsgrenze, Elasticitätsmodul mit großer Genauigkeit festzustellen; namentlich die Bestimmung der Proportionalitätsgrenze und Streckgrenze ist insofern sehr unzuverlässig, als sie wesentlich von der Sorgfalt der Versuchsausführung und von der Feinheit der angewendeten Meßwerkzeuge abhängt, ganz abgesehen davon, daß die Begriffe selbst nicht ganz streng feststellbar sind. Hierzu kommt noch der Umstand, daß die Schwankungen, welche die Eigenschaften des Materials an sich, schon wegen der Unvollkommenheiten der Herstellung, in einem und demselben Stück stets aufweisen, eine bestimmte Zahl für die oben genannten Eigenschaften des Materials oft bedeutungslos machen, wenn man nicht zugleich sicher ist, daß sie als Durchschnitt aus mehreren Versuchen gewonnen ist, und weiß,

Digitized by Google

wie bei deren Feststellung verfahren wurde. Angesichts dieser Thatsachen muß es im Allgemeinen als thöricht erscheinen, wenn die Bruchspannungen in $\frac{kg}{qmm}$ oder die Dehnungen in Procenten u. s. w. mit mehr als einer Decimalstelle angegeben werden; diese Decimalstelle dürfte in den allermeisten Fällen sicher schon unzuverlässig sein.

Auf einen bei der Ausführung von Biegungsversuchen zu beachtenden Umstand muß hier übrigens noch aufmerksam gemacht werden, weil er auch für die Beurtheilung der hier zu besprechenden Versuchsergebnisse von Einfluß ist, das ist die Abnahme der Stützweite mit vorschreitender Durchbiegung, wie sie beispielsweise durch die Biegevorrichtung der Werder-Maschine bedingt ist, deren Widerlager durch Rollen von 200 mm Durchmesser gebildet sind. Man wird namentlich, wenn man die Bruchspannung und die Gesammtarbeitsleistung des Materials feststellen will, den störenden Einfluß der Rollen berücksichtigen, oder besser Rollen von großem Durchmesser überhaupt vermeiden müssen. Bei den vorbeschriebenen Versuchen wurde eine Verminderung der Stützweite von 1000 auf 920 mm und weniger mehrfach festgestellt. Wenn es streng zulässig wäre, die Biegungsformel auch nach dem Eintritt der bleibenden Formänderung anzuwenden, so würde man bei der Inrechnungstellung der ursprünglichen Stützweite, wie es bei der Ermittelung der Werthe in Tabelle 3 geschehen ist, die Bruchspannung um $\frac{920}{1000}$ oder 8% zu hoch finden.

Tabelle 3.

Zusammenstellung der Bruchlasten und Bruchspannungen.

$W = \frac{b h^2}{6}$ für alle 5 Versuchsstücke = 36 000.

Stab Nr.	1	2	3	4	5
Bruchlast kg . . . . =	2850	2400	2200	2300	2800
Bruchspannung $\frac{kg}{qmm}$. =	19,8	16,7	15,3	16,0	19,4

Bruchspannung im Mittel = 17,4 $\frac{kg}{qmm}$,

oder nach Berücksichtigung der Stützweiten-Verkürzung $17{,}4 \cdot \frac{920}{1000} = \mathbf{16{,}0}\ \frac{kg}{qmm}$.

Es sei hier bemerkt, daß in dem über die Versuche ausgestellten Attest die Verminderung der Stützweite nicht berücksichtigt worden ist; daselbst ist vielmehr als Mittelwerth für die Bruchspannung die Zahl 17,4 $\frac{kg}{qmm}$ angegeben.

Bald nach Beginn des Versuches ließen die Stäbe ein Knistern hören, welches in der Regel bis zum Bruche anhielt. Der Bruch erfolgte meistens ohne starkes Geräusch durch Einreißen der auf Zug beanspruchten Fasern.

Der Querschnitt des Stabes hat, in Folge des Fließens des Materiales, unter der Mittelschneide Veränderungen erlitten, über welche in Tabelle 2 die nöthigen Angaben gemacht worden sind.

Die Bruchfläche der Stäbe ist durch die photographischen Abbildungen Fig. 3, 6 und 9 Taf. III erläutert; Fig. 6 giebt eine Zusammenstellung der sämmtlichen erhaltenen Bruchstücke. Die Bruchflächen Fig. 3 und 9 zeigen ein hellweißes, krystallinisch zackiges Gefüge, wobei das Gefüge der Zugseite von demjenigen der Druckseite des Querschnittes deutlich auffallend abgegrenzt ist; man bemerkt diese Grenze auch auf der Photographie. Eigenthümlich sind die vielen, länglich runden Porenquerschnitte, welche sich in der Bruchfläche zeigen. Es liegt hier eine wesentliche Verschiedenheit gegen ähnliche, ursprünglich poröse, gewalzte Körper, z. B. Stahl, vor. Während man beim Stahl die ursprünglichen

Digitized by Google

Blasenflächen in den Brüchen von gewalzten Stücken fast immer eng aufeinanderliegend vorfindet, so daß auf einem geätzten Querschnitt die ursprünglichen Blasen als feine, kurze Linien erscheinen würden, findet man sie in den hier zu beschreibenden Bruchflächen meistens klaffend, im Querschnitt von linsenförmiger Gestalt, so daß es das Ansehen gewinnt, als ob das Material gleichsam wieder aufgequollen sei, nachdem es die Walze verließ.

B. Druckversuche.

Die Druckversuche sind mit würfelförmigen Stücken vorgenommen, welche nach vollendetem Biegungsversuch aus den Auflagerenden der Stäbe von 60×60 mm Querschnitt entnommen wurden. Sechs Würfel blieben an den vier gewalzten Außenflächen unbearbeitet, während die senkrecht zur Walzrichtung stehenden Stirnflächen parallel zu einander abgedreht worden sind. Diese sechs Würfel wurden in der Walzrichtung zerdrückt. Sie trugen die Zeichen 1 bis 5 und 3A, wobei die Zahlen anzeigen, daß der betreffende Würfel aus dem gleichbezifferten Stabe für die Biegungsversuche entnommen worden ist. Die beiden Würfel 4A und 5A wurden an allen sechs Flächen so bearbeitet, daß die Seitenabmessungen von etwa 60 mm auf 59 mm zurückgeführt wurden. Die Querschnittsverhältnisse sind mithin durch die Zahlen $\frac{3600}{3481} = 1{,}034$ gegeben. Diese letzten beiden Würfel wurden in der Richtung quer zur Walzrichtung zerdrückt.

Die Druckversuche sind mit der Werder-Maschine unter Anwendung des Bauschinger'schen Rollenfühlhebels (Apparat V, Uebersetzungsverhältniß 1 : 10) in der bekannten Anordnung*) von den Assistenten, Ingenieuren Kirsch und Krause, ausgeführt worden. Da bei dem ersten Versuch (3A) jedoch eine der benutzten Platten zerbrach, so wurde, um die Versuche nicht aufzuhalten, einerseits eine gußeiserne, bearbeitete Vorlegeplatte benutzt, deren Oberfläche allerdings etwas poröser und rauher war, als die der andererseits benutzten gehärteten Stahlplatte. Der Meßapparat wurde, wie es in der Versuchs-Anstalt bei den einfachen Druckversuchen Regel ist, auf die beiden Kopfplatten aufgesetzt, von denen die bewegliche nach dem genauen Ausrichten mit Hülfe der vier Kopfschrauben festgestellt worden war. Es ist auf diese Weise allerdings keine ganz streng richtige Messung zu erzielen, weil die Verdrückungen in den zwischengeschalteten Maschinentheilen mitgemessen werden und weil die bis zu einem gewissen Grade immerhin möglichen Aenderungen der parallelen Lage beider Druckflächen ebenfalls in die Messung eingehen, jedoch ist die Anordnung eine sehr einfache und für die praktischen Zwecke der Materialuntersuchung gewiß ausreichende. Von der Zuverlässigkeit der Methode für diese Zwecke kann man sich aus Nachfolgendem leicht überzeugen.

Als Anfangslast ist 1 t, als Belastungsstufe in der Regel 5 t gewählt. Die Abweichungen hiervon sind aus Tabelle 5 zu ersehen. Auf die Zeit ist nur in einzelnen Fällen Rücksicht genommen, die später besonders hervorzuheben sind; im Allgemeinen ist mit derjenigen Geschwindigkeit gearbeitet, die sich aus der unmittelbaren Aufeinanderfolge der Arbeitsvorgänge ergiebt.

In Tabelle 4 (S. 11) ist wiederum zur Erläuterung ein vollständiges Protokoll zum Abdruck gebracht, während in Tabelle 5 (S. 12—17) die Zusammenstellung der Endergebnisse in abgekürzter Form für alle acht Versuchskörper mit den während der Versuche niedergeschriebenen Bemerkungen enthalten sind.

*) Diese Einrichtungen sind ausführlich beschrieben in: „Mittheilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium der Königlichen technischen Hochschule in München." Heft 1.

Digitized by Google

Die Zahlenwerthe aus Tabelle 5 sind auf Tafel I in Fig. 4 bis 7 als Schaulinien wiedergegeben.

In Fig. 5 stellt die mit L bezeichnete Liniengruppe die bei verschiedenen Belastungen an den Würfeln 1 bis 5 erzielten Zusammendrückungen in Millimetern dar, während die Liniengruppe M die Zusammendrückungsunterschiede für je 5 t Belastung in zehnfachem Maßstabe aufgetragen ergiebt. Die einzelnen Linienzüge dürften aus der Zeichnung erkenntlich sein, sie sind an den Köpfen mit den Nummern der betreffenden Würfel bezeichnet, zu welchen sie gehören. In Fig. 4 sind die vollständigen Schaubilder für die beiden Würfel 1 und 2 eingetragen. Aus Fig. 5 erkennt man leicht die im Allgemeinen befriedigende Uebereinstimmung der fünf gleichwerthigen Versuche.

Aus Fig. 4 läßt sich ersehen, daß auch bei den Druckversuchen von einer Proportionalitätsgrenze nicht gesprochen werden kann. Die Linien h und i haben von Anfang an einen krummen Lauf und schon nach den ersten Belastungen zeigt sich eine bleibende Zusammendrückung, deren Größe mit steigender Belastung sehr schnell wächst, wie aus den

(Fortsetzung auf S. 18.)

Tabelle 4.

Prüfung eines Würfels auf Druckfestigkeit.

Länge oder Höhe 60,3 mm. — Gewicht 383 g. — Art der Lagerung: Druckrichtung in der Barrenaxe. — Querschnittsabmessungen: a = 60,4 mm, b = 60,4 mm. — Querschnitt = 3648 qmm.

Belastung		Ablesung am Apparat		Höhenverminderung		Zunahme der Höhenverminderung	Ausbauchung in der Mitte		Bemerkungen
Gesammtablesung am Appar.	kg pro qmm	V*) [rechts]	links	absolut	in		absolut	in	
		mm		mm	%	mm	mm	%	*) Appr. V. Uebersetzung 1 : 10.
tons									
1		0,00			0,00				Die eine Druckplatte ist von Stahl und glatt, die andere von Gußeisen mit ziemlich poröser Oberfläche.
5		0,07			0,12	0,07			
10		0,20			0,33	0,13			
1		0,09			0,15				
10		0,20			0,33	0,11			
15		0,92			1,53	0,72			
20		1,74			2,89	0,82			
25		2,31			3,83	0,57			
1		2,0			3,32				
25		2,38			3,95	0,38			
30		2,89			4,79	0,51			
35		3,32			5,51	0,43			
40		3,70			6,14	0,38			
45		4,09			6,78	0,39			
50		4,39			7,28	0,30			
1		3,82			6,33				
50		4,45			7,38	0,63			
55		4,63			7,68	0,18			
60		5,01			8,31	0,38			
65		5,26			8,72	0,25			
70		5,60			9,29	0,34			Fließen.
75		5,80			9,62	0,20			
1		5,01			8,31				
75		5,90			9,78	0,89			
80		6,10			10,12	0,20			
85		6,44			10,66	0,34			
90		6,88			11,41	0,44			Risse.
95		7,11			11,79	0,23			
100		7,70			12,77	0,59			
1		6,91			11,46				
100	27,4	8,04			13,33	1,13			

Nach 4 Minuten langem Stehen Zerstörung mit lautem Knall.

Maschine: A. Beobachter: gez. Krause.

Digitized by Google

Tabelle 5.
Zusammenstellung der Ergebnisse von Druckversuchen mit Magnesium.

Belastung tons	Gesammtverkürzung mm	Unterschied für je 5 t Zuwachs mm	Bleibende Verkürzung bei Entlastung mm	Elastische Verkürzung mm	Bemerkungen zu der Versuchsausführung
Würfel Nr. 1. Querschnittsabmessungen: 64,0 × 64,0 × (h = 60,3) mm; Körperinhalt = 0,22 cbdm; Gewicht = 0,383 kg; specifisches Gewicht = 1,74; Richtung nach der Barrenaxe.					
1	0,00				
5	0,07	0,07			
10	0,20	0,13			
1	0,09		0,09	0,11	
10	0,20			(1,22)*)	
15	0,92	0,72			
20	1,74	0,82			
25	2,31	0,57			
1	2,00		2,00	0,31	
25	2,38			(0,15)	
30	2,89	0,51			
35	3,32	0,43			
40	3,70	0,38			
45	4,09	0,39			
50	4,39	0,30			
1	3,82		3,82	0,55	
50	4,45			(0,14)	
55	4,63	0,18			
60	5,01	0,38			
65	5,26	0,25			
70	5,60	0,34			Fließen.
75	5,80	0,20			
1	5,01		5,01	0,79	
75	5,90			(0,16)	
80	6,10	0,20			
85	6,44	0,34			
90	6,88	0,44			Risse.
95	7,11	0,23			
100	7,70	0,59			
1	6,91		6,91	0,79	
100	8,04	Bruchlast		(0,11)	Nach 4 Minuten langem Stehen Zerstörung mit lautem Knall.
Würfel Nr. 2. Querschnittsabmessungen: 60,4 × 60,5 × (h = 60,3) mm; Körperinhalt = 0,22 cbdm; Gewicht = 0,383 kg; specifisches Gewicht = 1,74; Druckrichtung in der Barrenaxe.					
1	0,00				
5	0,13	0,13			
10	0,33	0,20			
1	0,19		0,19	0,14	
10	0,36			(0,74)	
15	0,98	0,62			
20	1,66	0,68			
25	2,32	0,66			
1	2,00		2,00	0,32	
25	2,51			(0,16)	
30	2,85	0,34			

*) Die eingeklammerten Zahlen geben das Verhältnis zwischen elastischer und bleibender Zusammendrückung an.

Digitized by Google

Belastung tons	Gesammtverkürzung mm	Unterschied für je 5 t Zuwachs mm	Bleibende Verkürzung bei Entlastung mm	Elastische Verkürzung bei Entlastung mm	Bemerkungen zu der Versuchsausführung
35	3,37	0,52			
40	3,74	0,37			
45	4,16	0,42			
50	4,50	0,34			
1	3,93		3,93	0,57	
50	4,60			(0,15)	
55	4,90	0,30			
60	5,20	0,30			
65	5,50	0,30			
70	5,82	0,32			Fließen.
75	6,19	0,37			
1	5,41		5,41	0,78	
75	6,29			(0,14)	
80	6,59	0,30			
85	6,94	0,35			Längsriß.
90	7,32	0,38			
95	7,69	0,37			
100	8,40	0,71			
1	7,70		7,70	0,70	
100	9,70	Bruchlast		(0,09)	Bruch mit Geräusch sofort nach dem Einspielen.

Würfel Nr. 3. Querschnittsabmessungen: 60,8 × 60,6 × (h = 60,4) mm; Körperinhalt = 0,22 cbdm; Gewicht = 0,383 kg; specifisches Gewicht = 1,74; Druckrichtung in der Barrenaxe.

1	0,00				
5	0,12	0,12			
10	0,30	0,18			
1	0,19		0,19	0,11	
10	0,31			(0,57)	
15	0,70	0,39			
20	1,40	0,70			
25	2,10	0,70			
1	1,83		1,83	0,27	
25	2,20			(0,15)	
30	2,65	0,45			
35	3,15	0,50			
40	3,58	0,43			
45	3,98	0,40			
50	4,31	0,33			
1	3,87		3,87	0,44	Risse.
50	4,40			(0,12)	
55	4,59	0,19			
60	4,89	0,30			
65	5,20	0,31			
70	5,48	0,28			
75	5,80	0,32			Fließen.
1	5,20		5,20	0 60	
75	5,90			(0,12)	
80	6,09	0 19			
85	6,51	0,42			
90	6,75	0,24			
95	7,20	0,45			
100	7,70	0,50			

Digitized by Google

Belastung tons	Gesammtverkürzung mm	Unterschied für je 5 t Zuwachs mm	Bleibende Verkürzung bei Entlastung mm	Elastische Verkürzung mm	Bemerkungen zu der Versuchsausführung
1	7,00		7,00	0,70	
100	8,00			(0,10)	
	9,10	Bruchlast			Bruch nach 3 min. mit lautem Knall.

Würfel Nr. 4. Querschnittsabmessungen: 60,7 × 60,8 × (h = 60,3) mm; Körperinhalt = 0,22 cbdm; Gewicht = 0,384 kg; spezifisches Gewicht = 1,75; Druckrichtung in der Barrenaxe.

1	0,00				
5	0,12	0,12			
10	0,35	0,23			
1	0,21		0,21	0,14	
10	0,38			(0,67)	
15	1,00	0,62			
20	1,72	0,72			
25	2,40	0,68			
1	2,11		2,11	0,29	
25	2,49			(0,14)	
30	2,93	0,44			
35	3,40	0,47			
40	3,80	0,40			
45	4,24	0,44			
50	4,52	0,28			
1	4,05		4,05	0,47	
50	4,68			(0,12)	
55	4,90	0,22			Risse.
60	5,20	0,30			
65	5,52	0,32			
70	5,84	0,32			
75	6,25	0,41			Fließen langsamer als bei den vorigen Körpern.
1	5,60		5,60	0,65	
75	6,39			(0,12)	
80	6,60	0,21			
85	6,94	0,34			
90	7,25	0,31			
95	7,87	0,62			
100	8,30	0,43			
—	9,30		Bruchlast		Nach 45 sec. Bruch mit lautem Geräusch.

Würfel Nr. 5. Querschnittsabmessungen: 60,8 × 60,8 × (h = 60,4) mm; Körperinhalt = 0,22 cbdm; Gewicht = 0,384 kg; spezifisches Gewicht = 1,75; Druckrichtung in der Barrenaxe.

1	0,00				
5	0,10	0,10			Oberfläche sehr ungleichmäßig.
10	0,28	0,18			
1	0,14		0,14	0,14	
10	0,28			(1,00)	
15	0,90	0,62			
20	1,71	0,81			
25	2,40	0,69			
1	2,09		2,09	0,31	
25	2,49			(0,15)	

Digitized by Google

Belastung tons	Gesamtverkürzung mm	Unterschied für je 5 t Zuwachs mm	Bleibende Verkürzung bei Entlastung mm	Elastische Verkürzung mm	Bemerkungen zu der Versuchsausführung
30	3,00	0,51			
35	3,49	0,49			
40	3,85	0,36			
45	4,29	0,44			Risse; Abspalten.
50	4,56	0,27			
1	4,01		4,01	0,55	
50	4,68			(0,14)	
55	4,92	0,24			
60	5,20	0,28			
65	5,52	0,32			
70	5,88	0,36			
75	6,10	0,22			Fließen.
1	5,42		5,42	0,68	
75	6,22			(0,13)	
80	6,43	0,21			
85	6,84	0,41			
90	7,17	0,33			
95	7,49	0,32			
100	8,0	0,51			Bruch nach 2 min. 45 sec. mit ziemlich lautem Geräusch.
—	9,25	Bruchlast			

Würfel Nr. 4 A. Querschnittsabmessungen: $59 \times 59 \times (h = 59)$ mm; Körperinhalt = 0,21 cbdm; Gewicht = 0,560 kg; spezifisches Gewicht = 1,71; Druckrichtung quer zur Barrenaxe.

1	0,00				
5	0,19	0,19			Würfel ringsum bearbeitet.
10	0,48	0,29			
1	0,28		0,28	0,20	
10	0,49			(0,72)	
15	0,99	0,50			
20	1,55	0,56			
25	2,00	0,45			
1	1,61		1,61	0,39	
25	2,08			(0,23)	Ausbauchung.
30	2,49	0,41			
35	2,92	0,43			
40	3,30	0,38			
45	3,74	0,44			
50	4,20	0,46			
1	3,63		3,63	0,57	
50	4,29			(0,16)	
55	4,60	0,31			
60	5,03	0,43			
60	5,19	0,16			Fließen.
65	5,60	0,41			
70	6,19	0,59			
75	7,03	0,84			
1	6,40		6,40	0,63	
75	7,60			(0,10)	
—	7,70				
80	Bruchlast				Der Bruch erfolgte, bevor 80 t hoch kamen.

Digitized by Google

Belastung tons	Gesamtverkürzung mm	Unterschied für je 5 t Zuwachs mm	Bleibende Verkürzung bei Entlastung mm	Elastische Verkürzung bei Entlastung mm	Bemerkung zu der Versuchsausführung
Würfel Nr. 5 A. Querschnittsabmessungen: 59 × 59 × 59 mm; Körperinhalt = 0,21 cbdm; Gewicht = 0,361 kg; spezifisches Gewicht 1,72; Druckrichtung quer zur Barrenaxe.					
1	0,00				
5	0,12	0,12			
10	0,38	0,26			Würfel ringsum bearbeitet, doch mit Fehlstellen.
1	0,20		0,20	0,18	
10	0,39			(0,30)	
15	0,89	0,50			
20	1,49	0,60			
25	2,00	0,51			Ausbauchung.
1	1,60		1,60	0,40	
25	2,08			(0,25)	
30	2,49	0,41			
35	2,90	0,41			
40	3,39	0,49			Krispelig.
45	3,79	0,40			
50	4,20	0,41			Fließen.
1	3,64		3,64	0,56	
50	4,20			(0,15)	
55	4,60	0,30			
60	5,08	0,48			
65	5,60	0,52			
70	6,10	0,50			
72,5	6,39				
75	6,80	0,70			
76	7,12				
77	7,40				
78	7,65				
79	8,30				
80	8,70	0,90	Bruchlast		Bruch, ohne daß 80 t noch hoch kamen.

Belastung tons	Gesamtverkürzung mm	Unterschied für den Belastungszuwachs mm	Bleibende Verkürzung bei Entlastung mm	Elastische Verkürzung bei Entlastung mm	Nachfließen in 0—2 min: Gesamtverkürzung mm	Nachfließen in 0—2 min: Unterschied mm	Bemerkungen
Würfel Nr. 3 A. Querschnittsabmessungen: 60,5 × 60,5 × (h = 60,6) mm; Körperinhalt = 0,22 cbdm; Gewicht = 0,384 kg; spezifisches Gewicht = 1,74; Druckrichtung in der Barrenaxe.							
1	0,00						
2	0,03	0,03					
3	0,08	0,05					
4	0,10	0,02					
5	0,12	0,02					
6	0,13	0,01					
7	0,16	0,03					
8	0,18	0,02					
9	0,20	0,02					
10	0,22	0,02					

Digitized by Google

Belastung	Gesamtverkürzung	Unterschied für den Belastungszuwachs	Bleibende Verkürzung bei Entlastung	Elastische Verkürzung	Nachfließen in 0—2 min		Bemerkungen
					Gesamtverkürzung	Unterschied	
t	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
1	0,08		0,08	0,14			
10	0,22			(1,75)			
1	0,10		0,10	0,12			
10	0,23			(1,20)			
15	0,67	0,44					
1	0,45		0,45	0,22			
15	0,68			(0,49)			
20	1,70	1,02					
1	1,39		1,39	0,31			
20	1,69			(0,22)			
25	2,18	0,49					
1	1,82		1,82	0,36			
25	2,20			(0,19)	2,23	0,03	
30	2,68	0,48			2,78	0,10	
35	3,22	0,54			3,30	0,08	
40	3,64	0,42			3,73	0,09	
1	3,23		3,23	0,50			
40	3,78			(0,15)			
45	4,00	0,22			4,16	0,16	
50	4,36	0,36			4,50	0,14	
55	4,71	0,35			4,87	0,16	
60	4,99	0,28			5,15	0,16	
1	4,51		4,51	0,64			
60	5,17			(0,14)			
65	5,30	0,13			5,42	0,12	
70	5,59	0,29			5,74	0,15	
75	5,84	0,25			6,00	0,16	
80	6,17	0,33			6,30	0,13	
1	5,57		5,57	0,73			
80	6,37			(0,13)			
85	6,50	0,13			6,83	0,33	
90	6,83	0,33			(7,40	0,57)	Ruck. Die Druckplatte zeigte einen Riß und wurde ausgewechselt.
1	6,00		6,00	0,83			Bei der Vermessung zeigte der
10	6,26			(0,14)			Würfel eine Verkürzung von 6 mm.
20	6,45						Querschnittsabmessungen: 63,5×64,9
30	6,60						×(h = 54,6) mm.
40	6,72						
50	6,82						
1	6,15						
50	6,82						
60	6,92						
70	7,00						
80	7,13						
90	7,40				7,48	0,08	
1	6,68		6,68	0,80			
90	7,55			(0,12)			
95	7,80	0,25			7,92	0,12	
100	8,20	0,40			8,65	0,45	
					9,02	0,37	
					9,35	0,33	Sehr allmähliche Beschleunigung.
100	Bruchlast						Plötzlicher Bruch.

Digitized by Google

Entlastungsschaulinien und aus dem Verlauf der Linien h_1 und i_1 zu ersehen ist. Auch aus den Liniengruppen h_2 und i_2 erkennt man sofort das Fehlen der Proportionalität. Diese Linien zeigen, wie der Zusammendrückungsunterschied für je eine Belastungsstufe anfangs sehr schnell zunimmt, mit etwa 20 t seinen größten Werth erreicht, um dann wieder stark abzunehmen und nun mit scheinbar unregelmäßigen Sprüngen sich zwischen etwa 55—75 t der Nullinie am meisten anzunähern und dann bis zum Bruch wiederum zu wachsen. Entsprechend diesem Verhalten zeigt die Druckschaulinie zwei Wendepunkte, einen bei 20 t, den andern auf der Strecke zwischen 55 und 75 t. Das „Fließen" des Materiales beginnt mit etwa 10 t, welche Belastung also der von Bauschinger so genannten „Quetschgrenze" entsprechen würde. Es ist hier übrigens noch darauf aufmerksam zu machen, daß von dem Beobachter regelmäßig der Beginn des Fließens bei etwa 70 t aufgezeichnet worden ist (vergl. Tabelle 5). Hier scheint zweifellos eine Täuschung vorzuliegen, die durch die noch zu besprechenden Unregelmäßigkeiten im Fließen des Materiales begründet sein dürfte.

Die elastische Zusammendrückung tritt gegenüber der bleibenden sehr stark zurück, wie aus dem Vergleich der beiden zusammengehörigen Linien h_1 und h_2 und i_1 und i_2 leicht erkannt wird. Das Verhältniß ändert sich während des Versuches in wesentlich anderer Weise als bei den Biegungsversuchen. In Fig. 5 und 6 sind die den Mittelwerthen aus diesen Verhältnißzahlen entsprechenden Linienzüge unter der Bezeichnung x und y eingetragen. Diese Linien zeigen, daß das Verhältniß ursprünglich größer als 1, mit wachsender Belastung sehr schnell abnimmt und sich der Nullinie sehr stark annähert; es kann von etwa 25 t ab als gleich groß angenommen werden, da es von hier ab bis zur Bruchlast für die Körper 1 bis 5 von etwa 0,15 auf etwa 0,11 und für die Körper 4 A und 5 A von etwa 0,24 auf etwa 0,10 abnimmt.

Ueber die Linien der Zusammendrückungsunterschiede ist noch zu bemerken, daß sie auf den ersten Blick sehr große Abweichungen zu bieten scheinen, wenn auch das früher geschilderte allgemeine Gesetz ihrer Krümmung ohne Weiteres erkennbar hervortritt. An diesen Unregelmäßigkeiten ist nicht nur der 10fach größere Maßstab, sondern vielmehr noch eine, beim Magnesium besonders stark hervortretende Materialeigenthümlichkeit schuld. Das Magnesium zeigt nämlich in auffallend hohem Grade Nachwirkungserscheinungen, wie dies sich namentlich bei der Besprechung der Zerreißversuche ergeben wird. Diese Nachwirkungen äußern sich nun bei den Druckversuchen in der Weise, daß jedesmal durch den ersten auf eine Wiederbelastung folgenden Belastungszuwachs von 5 t eine wesentlich geringere Zusammendrückung erzielt wird als durch die nachfolgenden Zuwachse von je 5 t. (Unter Wiederbelastung ist hierbei der der Entlastung folgende Belastungssprung von 1 t auf die zuletzt vor der Entlastung angewendete Belastungsgröße verstanden.) Man vermag diesen Umstand zwar bei den ersten Entlastungen nicht klar zu erkennen, weil hier noch die Linien einen zu steilen Verlauf gegen die Nullinien haben und die Messungen überhaupt wohl nicht mit hinreichender Feinheit ausgeführt sind; hauptsächlich aber dürfte auch der Umstand mitwirken, daß die Größe der Nachwirkungen erst bei den höheren Belastungen deutlicher hervortritt. Die auf die Entlastungen von 50 t und 75 t folgenden Zuwachse auf 55 t beziehentlich 80 t lassen aber die Verminderung der Zusammendrückung ganz klar erkennen und man erhält als Mittel aus allen fünf Versuchen an den Körpern 1 bis 5 etwa den Linienzug O Fig. 5, welcher die beiden entstehenden Zacken klar erkennen läßt. Ohne die Entlastungen würde der Linienzug wahrscheinlich den punktirten Verlauf genommen haben. Die Erklärung dieser Vorgänge wird nach der Besprechung der Zerreißversuche leicht zu finden sein.

Digitized by Google

Die Druckversuche quer zur Walzrichtung haben bemerkenswerthe Unterschiede ergeben, welche sowohl in den gewonnenen Versuchswerthen als auch in den Erscheinungen an den Probekörpern eigenthümlich hervortreten.

Um dem Leser den Vergleich möglichst zu erleichtern, sind aus den Schaulinien für die Versuche 4 A und 5 A (Fig. 6) die Ausgleichslinien T, U, V, W entworfen und mit den entsprechenden punktirt eingetragenen Linien N und O verglichen. Wegen der nur geringfügigen Verschiedenheit der Würfelabmessungen darf man, ohne einen großen Fehler zu begehen, die erhaltenen Werthe unmittelbar mit einander vergleichen. Man erkennt, daß bei nahezu gleicher Gesammtdehnung die Bruchlast geringer geworden ist. Die Linie W zeigt wohl im Allgemeinen einen ähnlichen Verlauf wie O, sie unterscheidet sich aber dadurch, daß der größte Werth der Zusammendrückung für je 5 t allerdings ebenfalls nahezu bei 20 t liegend geringer, dagegen die übrigen Werthe größer sind als bei O. Die Nachwirkungserscheinungen treten hier nur einmal deutlich hervor, weil die spätere Entlastung unmittelbar vor dem Bruch erfolgt ist. Das Verhältniß zwischen elastischer und bleibender Zusammendrückung ist ein etwas größeres, als bei der Zusammendrückung in der Walzrichtung, wie dies ja schon aus den oben mitgetheilten Zahlenwerthen sich ergiebt.

Bevor zur Beschreibung der Bruchserscheinungen übergegangen wird, sollen noch die Ergebnisse von Versuch 3 A besprochen werden, welche in dem Schaubilde Fig. 7 zeichnerisch wiedergegeben sind. Beim Versuch 3 A ist der Einfluß der Zeit auf das „Fließen" des Materiales festgestellt worden. Aus der Schaulinie k ersieht man, daß der allgemeine Verlauf der Linie der gleiche ist, wie er früher beschrieben wurde. Die Längen der dicken wagerechten Striche in den Stufen geben jedesmal das Nachfließen (Zusammendrückung) an, welches das Probestück unter der Einwirkung der jeweiligen Belastung innerhalb der ersten beiden Minuten nach dem ersten Einspielen der Waage erfährt. Man erkennt, wie die Größe dieses Nachfließens Anfangs etwas zunimmt, dann beständig bleibt und gegen Ende des Versuches schnell wächst. Aus der Länge der Linien für die Zeiteinheit würde man die unter einer bestimmten Belastung eintretende Fließgeschwindigkeit ableiten können. Man bemerkt an der letzten Stufe (Belastung 100 t), bei welcher die den einzelnen Zeitabschnitten entsprechenden Fließlängen bezeichnet sind, daß die Geschwindigkeit unmittelbar nach dem ersten Einspielen der Waage am größten ist und daß sie in den folgenden Zeitabschnitten geringer wird. Bei Besprechung der Zerreißversuche muß hierauf noch näher eingegangen werden. Bei dem Versuche 3 A mußte wegen des Bruches eines Maschinentheiles ein Aufenthalt eintreten; deswegen wurde bei 90 t entlastet und nach einiger Zeit der Versuch wiederholt, indem man nunmehr von vorne anfangend mit Belastungsstufen von 10 t wieder bis auf 90 t vorging. Man erkennt, daß die neu entstehende Schaulinie einen sehr viel steileren, aber auch nicht geradlinigen Verlauf hat, als die erste. Während des ersten Theiles des Versuches ist die durch die Belastung (90 t) erzielbare bleibende Formänderung fast ganz erreicht, die Arbeitsfähigkeit des Materiales entsprechend erschöpft; während des zweiten Theiles ist die bleibende Formänderung eine sehr geringe und der auf ihre Erzeugung gerichtete Theil der mechanischen Arbeit kaum größer, als die elastische Formänderungsarbeit, wie man aus dem Vergleich der betreffenden Schaubildflächen ohne Weiteres ersieht. Auch auf diese Verhältnisse kann jedoch erst bei Besprechung der Zerreißversuche näher eingegangen werden. Es ist nun noch nöthig, auf den Verlauf der Linie k_3 zu verweisen, welche die Zusammendrückungsunterschiede für je 5 t Belastung angiebt, gemessen vom ersten Einspielen der letzten Belastung bis zum ersten Einspielen der folgenden, also in dem bislang benutzten Sinne. Die Linie zeigt dementsprechend auch volle Uebereinstimmung mit den früher besprochenen. Da die Entlastungspunkte durch kleine

Digitized by Google

Kreise angedeutet sind, so erkennt man an den Zacken auch deutlich den Einfluß der vorausgehenden Entlastung auf den nachfolgenden Zusammendrückungsunterschied. Die punktirte Linie k_x giebt die Unterschiede für je 5 t Belastung, gemessen vom Endpunkt der Nachfließlinie bis zum ersten Einspielen unter der folgenden Belastung. Der Verlauf dieser Linie nähert sich mehr der Nullinie und zeigt nicht so große Schwankungen als derjenige von k_3; im Allgemeinen besteht aber Aehnlichkeit zwischen beiden.

Tabelle 6.

Zusammenstellung der Bruchlasten und Bruchspannungen.

Würfel . . . . . Nr.	1	2	3	4	5	3 A	4 A	5 A
Bruchlast . . . . kg	100000	100000	100000	100000	100000	100000	80000	80000
Bruchspannung . . $\frac{kg}{qmm}$	27,4	27,4	27,1	27,1	27,0	27,3	23,0	23,0
Höhenverminderung . %	13,3	16,1	15,0	15,4	15,3	15,4	13,1	14,7
Mittlere Bruchspannung $\frac{kg}{qmm}$	27,2						23,0	
Mittlere Höhenverminderung %	15,1						13,9	
Verhältnißzahlen für mittlere Bruchspannung =							85	
Höhenverminderung =							92	
bezogen auf 1 bis 3 A als 100.								

Die Bruchercheinungen bei den untersuchten Würfeln sind durch die Abbildungen (Fig. 1, 2, 4, 5, 7 und 8, Taf. III) veranschaulicht. Es sind regelmäßig quer durch das Stück verlaufende Bruchebenen entstanden, welche entweder von der einen Ecke zur gegenüberliegenden laufen, oder durch zwei gegenüberliegende Kanten der beiden Druckflächen gehen; ganz ähnlich den Trennungsflächen, wie man sie bei Druckversuchen mit Holz zu erhalten pflegt. Man ist nicht im Stande, die sonst für Druckversuche charakteristischen Doppelpyramiden zu erkennen. Mehrfach findet man einen Theil des Kantenmateriales durch Abschiebungen nach gleich gerichteten Flächen losgetrennt, etwa wie es bei a in der nachstehenden Figur 2 dargestellt ist. Auf den Seitenflächen der bearbeiteten Würfel findet man, daß in der Bruchfuge scharfe Zacken (Fig. 3) vorhanden und ferner neben der

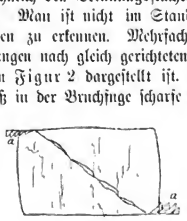


Fig. 2.

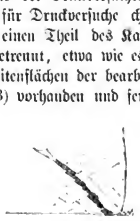


Fig. 3.

Bruchfuge sich kreuzende Linien zu bemerken sind, welche andeuten, daß auch nach den anderen Schubflächen eine Trennung des Materials bereits eingeleitet war. Die Seitenflächen des Würfels zeigen in der Regel Längsrisse, herrührend von den sich öffnenden Walzfugen und Schweißstellen; sie sind nur sehr wenig ausgebaucht. Eine auffallend andere Erscheinung bieten aber in dieser Beziehung die quer zur Walzrichtung zerdrückten Würfel. Bei denselben sind die senkrecht zur Walzrichtung liegenden Würfelflächen, entgegengesetzt den sonst gewohnten Ausbauchungen, nach innen gewölbt, so daß also der Würfel in der Walzrichtung in seiner Mitte eine geringere Ausdehnung erfahren hat.

Digitized by Google

Beide Würfel haben nach dem Bruch in der Mittellinie nach der Walzrichtung höchstens eine Verlängerung von 0,8 mm erfahren, während die Verlängerung der Mittellinie senkrecht hierzu etwa 11 mm beträgt. Die eine der Flächen senkrecht zur Walzrichtung ist bei beiden Würfeln ganz bedeutend stärker nach innen gekrümmt als die andere; leider kann die ursprüngliche Lage der Körper im Stabe nicht mehr angegeben werden. Die ursprünglichen Kanten des Walzstabes haben eine größere Längenänderung erlitten als die Mittellinie des Körpers. Fig. 2 und 5 zeigen diese Zustände deutlich. Man darf hier wohl vermuthen, daß innere Spannungszustände durch das Auswalzen im Material erzeugt worden sind, welche als Beeinflussung des Formänderungsvorganges zum Ausdruck kommen, sobald durch den Festigkeitsversuch die Bewegung der kleinsten Theilchen eingeleitet ist. Die Erscheinungen, wie sie beim Zerreißversuch auftreten und nunmehr zu besprechen sind, dürften diese Vermuthung stützen. Erwähnt sei übrigens noch, daß an den bearbeiteten Würfeln schließlich alle aufgeschlagenen, durch die Bearbeitung entfernten Bezeichnungen beim Versuch deutlich wieder hervortraten, wie dies auch bei anderen Materialien vielfach bemerkt worden ist.

C. Zerreißversuche.

Die Zerreißversuche sind an Rundstäben von der Normalform der Versuchs-Anstalt angestellt, welche aus gewalzten Rundstäben von 30 mm Durchmesser entnommen wurden. Die Versuche wurden auf der vom Verfasser für 50000 kg Belastung construirten Maschine (Maschine G der Versuchs-Anstalt) und unter Benutzung der ebenfalls von ihm construirten Spiegelapparate vom Assistenten, Ingenieur Krause, und vom Verfasser ausgeführt. Ueber die vorgenannte Maschine, sowie über die neuen Feinmeßapparate der Versuchs-Anstalt wird in einem späteren Aufsatze ausführlich berichtet werden; es werde hier nur kurz bemerkt, daß das wahre Uebersetzungsverhältniß des Spiegelapparates in der für die Versuchsausführung benutzten Aufstellung 1 : 511 gewesen ist, während bei Ermittelung der hier mitgetheilten Werthe das Verhältniß 1 : 500 in Rechnung gestellt worden ist. Außerdem ist mehrfach der Ablesemaßstab in seiner ganzen Länge gebraucht worden, wodurch, infolge des großen Ausschlagwinkels von etwa 18°, vom Winkelbetrage abhängige Fehler bis zum Höchstbetrage von etwa 3 % entstanden sind. Von einer Berichtigung der erhaltenen Zahlen wurde aber Abstand genommen, weil hierfür ein praktisches Bedürfniß nicht vorlag und die beabsichtigten Vergleiche auch an den mit einem geringen Fehler behafteten Zahlen zutreffend bleiben werden.

Die rohen unbearbeiteten Versuchsstücke zeigten ebenfalls aufgewalzte Schiefer. Bei der Bearbeitung verschwanden jedoch diese Fehlstellen gänzlich, so daß die Versuche recht gleichmäßig und zuverlässig ausgefallen sind.

Bei den voraufgehenden Biegungs- und Druckversuchen hatte man bereits die Ueberzeugung gewonnen, daß man es beim Magnesium mit einem Material zu thun habe, welches dem Einflusse der Geschwindigkeit in der Versuchsausführung in sehr hohem Grade unterworfen ist. Es lag deswegen nahe, bei den Zerreißversuchen diesen Einfluß thunlichst eingehend zu untersuchen, weil man hier mit wesentlich feineren Meßmethoden arbeiten konnte und weil auch der Beobachter die Versuchsausführung bei der Maschine G sicherer in der Hand hat und besser für ein völlig gleichartiges Vorgehen Sorge tragen kann, als bei der Werder-Maschine.

Die Versuche 3 und 4 sind mit Belastungsstufen von 0,25, beziehentlich 0,5 t schlichtweg ohne Entlastungen ausgeführt. Dabei ist der Versuch 3 thunlichst schnell, der Versuch 4 möglichst langsam, aber so vollzogen, daß die Kolbengeschwindigkeit der Maschine im

Digitized by Google

ersten Falle während des Streckens eine beträchtliche war, während sie im zweiten auf etwa 0,28 mm für die Minute bemessen wurde. Der Versuch 3 nahm dementsprechend 14 Minuten, Versuch 4 aber 200 Minuten in Anspruch. Die Versuche 1, 2 u. 5 sind mit Belastungsstufen von 0,25 t und mit Entlastungen bei je 0,5 t gleichartig durchgeführt, mit dem Unterschiede jedoch, daß bei Versuch 1 nach den Entlastungen jedesmal nur 3 Minuten gewartet wurde, bevor die zweite Ablesung erfolgte, während bei den Versuchen 2 und 5 nach dem Einspielen der jeweiligen Belastung mehrere Minuten gewartet und dabei mit jedem Minutenschlage abgelesen wurde. Diese wiederholten Ablesungen erfolgten bei Versuch 2 nach jeder Belastung 5 Minuten lang, nach jeder Entlastung 3 Minuten lang, während bei Versuch 5 nach jeder Belastung 15 Minuten lang, nach jeder Entlastung aber 7 bis 10 Minuten lang abgelesen worden ist. Die Versuche 1 und 2 sind auf die beschriebene Weise sofort, der Versuch 5 aber wurde mit mehrtägigen Unterbrechungen zu Ende geführt, und zwar wurde für denselben innerhalb der Belastungsgrenzen von 0,25 t bis 5,5 t die Prüfung völlig gleichartig, wie bei Versuch 4, vier Mal wiederholt und nach der vierten Wiederholung der Stab zerrissen. Vor und nach jeder Prüfung wurde der Stab bei Zimmerwärme auf der Theilmaschine der Versuchs-Anstalt mit dem mit Präcisions-Aichung versehenen Messing-Normalmaß mikrometrisch verglichen, wobei stets die gleichen Theilstriche des Maßstabes benutzt worden sind. Die Vergrößerung des Mikroskops ist etwa eine zehnfache und eine Umdrehung der Mikrometerschraube wurde, durch zu verschiedenen Zeiten oft wiederholte Messungen der beiden Millimetertheilungen 98 bis 100 des Maßstabes, zu 0,1234 mm festgestellt, wobei die ersten drei Stellen als sicher angesehen werden dürfen.

Die Versuchsergebnisse sind in den beiden nachstehenden Tabellen 7 und 8 zusammengestellt und zwar giebt Tabelle 7 wiederum ein Protokoll, wie es in der Versuchs-Anstalt für Zerreißversuche üblich ist und Tabelle 8 eine Zusammenstellung der Ergebnisse in abgekürzter Form.

Tabelle 7.

Prüfung eines Rundstabes auf Zugfestigkeit.

Versuchslänge: normal. Meßlänge: 150 mm, d = 19,8 mm. Querschnitt = 308 qmm. Meßapparat: IV b.

Belastung tons	Spannung kg pro qmm	Bewegung der Spiegel links $\frac{1}{1000}$ mm	Bewegung der Spiegel rechts $\frac{1}{1000}$ mm	Summe der Bewegungen $\frac{1}{1000}$ mm	Dehnung Differenzen $\frac{1}{1000}$ mm	Dehnung Fließgeschwindigkeit	Belastung tons	Dehnung mm	Bemerkungen
0,25									JJ
0,5		148	153	301					
1		454	480	934	633	633			
1,5		770	827	1597	663	1296			30
2		1110	1200	2310	713	2009			50
2,5		1469	1589	3058	748	2757			35
3		1859	2012	3871	813	3570			65
3,5		2280	2475	4755	884	4454			71
4		2730	2965	5695	940	5394			56
4,5		3220	3512	6732	1037	6431			97
5,0		3780	4175	7955	1223	7654			186 fast Fließen
5,5		4400	4910	9310	1345	9009			122
6,0		5300*)					6	1,0	*) rechter Maßstab verschwunden.
							6,5	1,5	
							6,75	1,8	
							7,0	2,2	krispelig
							7,25	3,5	mit 50 kg weiter
							7,35		Bruchlast
	23 9				Bruch mit lautem Knall				

Maschine: G. Beobachter: gez. Krause.

Digitized by Google

Tabelle 8.

Gegenüberstellung der Ergebnisse von Zugversuchen mit Magnesium.

Den Versuchen haben Normal-Rundstäbe von 20 mm Durchmesser zu Grunde gelegen.

Belastung des Stabes t	Gesamtdehnung mm	Unterschied für je 0,25 t Zuwachs mm	Bleibende Dehnung bei Entlastung mm	Elastische Dehnung mm	Nachfließen bei Belastung und Entlastung nach Minute 1	2	3	Nachfließen in 0,0001 mm	Bemerkungen
Stab 1. Versuchsdauer 130 min.									
0,25	0,000								
0,50	0,0279	0,0279							
0,25	−0,0002	—	−0,0002	0,0281					
0,50	0,0276	0,0278		(∞)*)					
0,75	0,0574	0,0298							
1,00	0,0891	0,0317							Strecken.
0,25	0,0026	—	0,0026	0,0865					
1,00	0,0893	—		(33,3)					
1,25	0,1223	0,0330							
1,50	0,1564	0,0341							
0,25	0,0102	—	0,0102	0,1462					
1,50	0,1568	—		(14,3)					
1,75	0,1910	0,0342							
2,00	0,2279	0,0369							
0,25	0,0203	—	0,0203	0,2076			0,0198	— 5	
2,00	0,2292	—		(12,5)					
2,25	0,2651	0,0359							
2,50	0,3051	0,0400							
0,25	0,0342	—	0,0342	0,2709			0,0330	— 12	
2,50	0,3075	—		(7,9)					
2,75	0,3461	0,0386							
3,00	0,3882	0,0421							
0,25	0,0497	—	0,0497	0,3385			0,0477	— 20	
3,00	0,3917	—		(6,8)					
3,25	0,4310	0,0393							
3,50	0,4768	0,0458							
0,25	0,0694	—	0,0694	0,4074			0,0668	— 26	
3,50	0,4812	—		(5,9)					
3,75	0,5270	0,0458							
4,00	0,5757	0,0487							
0,25	0,0947	—	0,0947	0,4810			0,0916	— 31	
4,00	0,5842	—		(5,1)					
4,25	0,6310	0,0468							
4,50	0,6852	0,0542							
0,25	0,1260	—	0,1260	0,5592			0,1224	— 36	
4,50	0,6975	—		(4,4)					
4,75	0,7594	0,0619							
5,00	0,8370	0,0776							
0,25	0,1990	—	0,1990	0,6380			0,1963	— 27	Um die Ablesungen noch weiter fortsetzen zu können, wurden die Spiegel von etwa 5000 auf 3000 zurückgestellt.
5,00	0,8730	—		(3,2)					
5,25	0,9475	0,0745							
5,50	1,0420	0,0955							
0,25	0,3273	—	0,3273	0,7174			0,3139	74	
5,50	1,0964	—		(2,2)					
5,75	1,2100	0,1136							Die Maße konnten nicht mehr sicher abgelesen werden. Spiegelapparat abgenommen, mit Anlegemaßstab weiter gemessen. Von 6 t ab wird mit Stufen von je 50 kg gearbeitet. Oberfläche wird krispelig.
6,00	1,3500	0,2900							
6,25	2,0000	0,5000							
6,50	2,400	0,4000							
6,75	4,000	1,6000							
6,95		Bruchlast.	Dehnung nach dem Bruch = 13,3 mm.						

*) Die eingeklammerten Zahlen geben das Verhältniß zwischen elastischer und bleibender Dehnung an.

Digitized by Google

Stab 2. Versuchsdauer 300 min. + 42 st. Pause. — Die Ablesungen erfolgen nach dem Einspielen der Last jede volle Minute.

Belastung des Stabes t	Gesamtdehnung in mm	Unterschied für je 5 t Zuwachs	Bleibende Dehnung bei Entlastung mm	Elastische Dehnung mm	Nachfließen bei Belastung und Entlastung nach Minute 1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm	Nachfließen in 0,001 mm nach Minute 1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm	Unterschiede zwischen Belastung und Entlastung zweier Belastungsstufen	Bemerkungen
0,25	0,0000															
0,50	0,0298	0,0298		*)	0,0300	0,0300				2	2	—	—	—		
0,25	0,0000	—	0,0000	0,0298						—	—	—	—	—		
0,50	0,0300	←	(∞)		0,0300					0	—	—	—	—		
0,75	0,0618	0,0318			0,0618	0,0620	0,0621			0	2	3	—	—		
1,00	0,0957	0,0339			0,0958 (0,0961*)	0,0970	0,0973	0,0973	0,0975	1	7	16	16	18	0,0336	*) Die Spiegel zittern. Erschütterung durch Wagen u. s. w.
0,25	0,0067	—	0,0067	0,0893	0,0067	0,0066	0,0066			0	— 1	— 1	—	—		
1,00	0,0973	—		(13,3)	0,0975	0,0978	**0,0987**	0,0989	0,0989	2	5	**14**	16	16		
1,25	0,1326	0,0353			0,1328	**0,1338**	0,1339	0,1340	0,1342	2	**12**	13	14	16	0,0337	
1,50	0,1692	0,0366			0,1693	0,1696	**0,1712**	0,1712	**0,1730**	1	4	**20**	20	**38**	0,0350	
0,25	0,0188	—	0,0188	0,1504	0,0186	**0,0176**	0,0176			2	**— 12**	— 12	—	—		
1,50	0,1727	—		(8,0)	0,1728	**0,1740**	0,1741	(0,1742*)	0,1746	1	**13**	14	16	19		*) Die Spiegel zittern.
1,75	0,2091	0,0364			0,2106	0,2118	0,2118	**0,2129**	0,2130	18	27	27	**38**	39	0,0345	
2,00	0,2496	0,0405			**0,2511**	0,2513	0,2528	0,2529	0,2529	15	17	32	33	33	0,0366	
0,25	0,0350	—	0,0350	0,2146	0,0346	0,0332	0,0332			— 4	— 18	— 18	—	—		
2,00	0,2531	—		(6,1)	0,2544	0,2550	0,2551	**0,2562**	(0,2564*)	13	19	20	**31**	33		*) Wagen fährt vorüber.
2,25	0,2927	0,0396			**0,2937**	**0,2951**	0,2951	**0,2959**	0,2969	**10**	**24**	24	**32**	42	0,0363	
2,50	0,3346	0,0419			**0,3371**	**0,3387**	0,3386	0,3396	0,3398	**25**	**41**	40	50	52	0,0377	
0,25	0,0552	—	0,0552	0,2794	**0,0535**	0,0533	0,0530			**— 17**	— 19	— 22	—	—		
2,50	0,3390	—		(5,1)	**0,3411**	0,3429	0,3429			**21**	39	39	—	**48**		
2,75	0,3798	0,0408			**0,3818**	**0,3827**	**0,3843**	0,3842	**0,3855**	**20**	**29**	**45**	44	**57**	0,0360	
3,00	0,4253	0,0455			**0,4272**	**0,4299**	**0,4312**	0,4323	0,4324	**19**	**46**	**59**	70	71	0,0398	
0,25	0,0785	—	0,0785	0,3468	0,0770	**0,0763**	**0,0757**			— 15	**— 22**	— 28	—	—		
3,00	0,4321	—		(4,4)	0,4342	0,4359	0,4374	0,4374	0,4381	21	38	53	53	60		
3,25	0,4766	0,0445			0,4808	0,4823	0,4821	0,4837	0,4844	42	57	55	71	78	0,0385	
3,50	0,5246	0,0480			0,5277	0,5291	0,5302	0,5321	0,5321	31	45	56	75	75	0,0402	
0,25	0,1050	—	0,1050	0,4196	0,1030	0,1028	0,1022			— 20	— 22	— 28	—	—		
3,50	0,5348	—		(4,0)	0,5374	0,5391	0,5392	0,5409	0,5422	26	43	44	61	74		
3,75	0,5829	0,0481			0,5856	0,5885	0,5892	0,5899	0,5912	27	56	63	70	83	0,0407	
4,00	0,6349	0,0520			0,6383	0,6408	0,6438	0,6452	0,6472	34	59	89	103	123	0,0437	
0,25	0,1383	—	0,1383	0,4966	0,1368	0,1359	0,1350			— 15	— 24	— 33	—	—		Der Stab bleibt mit dieser Belastung 42 Stunden in der Maschine und wird dann weiter geprüft. Der Stab hat sich während dieser Zeit um 76 verkürzt.
4,00	0,6343	—		(3,6)	0,6381	0,6396	0,6414	0,6416	0,6435	38	53	71	73	92		
4,25	0,6843	0,0500			0,6874	0,6891	0,6905	0,6916	0,6935	31	48	62	73	92		
4,50	0,7359	0,0516			0,7398	0,7431	0,7451	0,7465	0,7484	39	72	92	106	125	0,0424	0,0408
0,25	0,1806	—	0,1806	0,5553	0,1785	0,1779	0,1764			21	— 27	— 42				
4,50	0,7517	—		(3,0)	0,7562	0,7573	0,7609	0,7612	0,7613	45	62	92	95	116		
4,75	0,8055	0,0538			0,8106	0,8157	0,8171	0,8197	0,8218	54	102	116	142	163	0,0442	
5,00	0,8636	0,0641			0,8774	0,8824	0,8880	0,8906	0,8955	78	128	184	216	259	0,0478	
0,25	0,2431	—	0,2431	0,6263	0,2402	0,2386	0,2380			— 53	— 76	— 80				
5,00	0,9021	—		(2,6)	0,9098	0,9153	0,9182	0,9215	0,9254	91	168	246	333	392		
5,25	0,9742	0,0721			0,9836	0,9908	0,9972	1,0016	1,0071	209	377	469	568	701	0,0488	
5,50	1,0713	0,0971			1,0858	1,0936	1,1119	1,1208	—	405	860	1200	Fließen		0,0642	Durch Betrieben wurde der Stab überlastet. Maßstäbe verschwunden und bei 5,5 t Spiegel neu eingestellt.
0,25	0,3794	—	0,3791	0,7019	0,3741	0,3718	0,3714			— 29	— 45	— 51				
5,50	1,1304			(1,9)	1,1395	1,1472	1,1550	1,1637	1,1696	77	132	161	194	233		
5,75	1,2255	0,0951			1,2464	1,2632	1,2764	1,2923	1,3056	94	166	230	274	329		
6,00	1,3784	0,1529			1,4189	1,4644	1,4984	—	—	145	283	306	395			
6,25	1,5274	0,5490														
6,5	2,2274	0,7000														
6,75	2,9274	0,7000														
7,00	4,6274	1,7000														
7,25	9,1274	4,5000														
7,3	—	Bruchlast.	Dehnung nach dem Bruch = 22,7 mm.													

NB. Bei der Bestimmung der Fließgeschwindigkeiten mußte durch Öffnen des Ventils hinter der Wagehebel wieder zum Einspielen gebracht werden. Da hierbei jedesmal eine plötzliche Zunahme der Dehnung eintrat, so sind die betreffenden Ablesungen durch Fettdruck der Werte gekennzeichnet. Beim 5 t ab wurde der jeder Ablesung der Hebel zum Einspielen gebracht werden. Selbstverständlich das Ventil geöffnet bleiben; die Werte sind dann nicht mehr fettgedruckt.

Digitized by Google

Belastung des Stabes t	Gesammtdehnung in mm	Unterschied für je 0,5 t bezw. 0,25 t Zuwachs mm	Bleibende Dehnung bei Entlastung mm	Elastische Dehnung mm	Bemerkungen
Stab 3. Versuchsdauer 14 Minuten. — Der Versuch sollte ohne Aufenthalt möglichst schnell durchgeführt w deswegen wurde mit Stufen von 0,5 t gearbeitet.					
0,25	0,0000				
0,5	0,0301				
1,00	0,0934	0,0633			
1,5	0,1597	0,0663			
2,0	0,2310	0,0713			
2,5	0,3058	0,0748			
3,0	0,3871	0,0813			
3,5	0,4755	0,0884			
4,0	0,5695	0,0940			
4,5	0,6732	0,1037			
5,0	0,7955	0,1223			Fast Fließen.
5,5	0,9310	0,1345			
6,0	1,0	0,0690			
6,5	1,5	0,5			
6,75	1,8				
7,0	2,2	0,7			Oberfläche wird krispelig.
7,25	3,5				Mit je 50 kg weiter belastet.
7,85	Bruch erfolgte mit lautem Knall. Dehnung nach dem Bruch = 14,0 mm				

Stab 4. Versuchsdauer 200 Minuten. — Der Versuch sollte möglichst langsam ausgeführt werden. Das Fließe Materiales erfolgte demgemäß von 6 t ab bei einer mittleren Kolbengeschwindigkeit von etwa 0,3 $\frac{mm}{min}$ (Mitt 24 Minuten). Die Bestimmung der Geschwindigkeit am Schluß des Versuchs ergiebt 0,26 $\frac{mm}{min}$.

0,25	0,0000				
0,5	0,0317	0,0317			
0,75	0,0651	0,0334			
1,00	0,0976	0,0325			
1,25	0,1330	0,0354			
1,5	0,1680	0,0350			
1,75	0,2059	0,0379			
2,00	0,2439	0,0380			
2,25	0,2815	0,0376			
2,5	0,3228	0,0413			
2,75	0,3674	0,0446			
3,00	0,4098	0,0424			
3,25	0,4560	0,0462			
3,5	0,5077	0,0517			
3,75	0,5533	0,0456			
4,00	0,6063	0,0530			
4,25	0,6632	0,0569			
4,5	0,7201	0,0569			
4,75	0,7966	0,0765			
5,00	0,8661	0,0695			
5,25	0,9446	0,0785			Strecken.
5,50	1,1441	0,1995			
5,75	1,2519	0,1078			
6,00	—	—			Fließen. Maßstäbe verschwinden.
6,25	1,7				
6,4	2,0				
6,5	2,1	0,4			
6,6	2,4				Oberfläche wird krispelig.
6,7	3,2				
6,8	4,9				
6,85	6,1				
6,875	7,8				Die Belastung nimmt ab, kommt aber bei 6 wieder zum Einspielen.

Digitized by Google

Nachfließen bei Belastung und Entlastung nach Minute																	Nach…			
1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm	7 mm	8 mm	9 mm	10 mm	11 mm	12 mm	13 mm	14 mm	15 mm	16 mm		1	2	3	4
Bei 6,625 t zeigt sich eine Anzahl feiner schräger Querrisse.																				
9,4 mm																				
Stab 5. Versuchsreihe 1.																				
0288	0,0288	0,0300	0,0300	0,0300													3	3	15	1[illegible]
0004	0,0004																− 0	− 0		
0302	0,0293	0,0293	0,0293	0,0293													14	5	5	[illegible]
0601	0,0601	0,0601	0,0602														0	0	0	
0917	0,0917	0,0918	0,0917	0,0917													15	15	16	1[illegible]
0035	0,0035	0,0034	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033											− 1	− 1	− 2	− [illegible]
0920	0,0920	0,0921	0,0920	0,0921	0,0921	0,0922	0,0922	0,0923									12	12	13	1[illegible]
1233	0,1233	0,123[illegible]	0,1245	0,124[illegible]	0,1245	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1250	0,1256		− 1	− 1	2	1
1562	0,1571	0,1571	0,1580	0,1580	0,1580	0,1580	0,1580	0,1585	0,1581	0,1584	0,1581	0,1584	0,1584	0,1583			2	11	11	2[illegible]
0103	0,0098	0,0098	0,0098	0,0098	0,0098	0,0098	0,0098	0,0097	0,0097								− 2	− 7	− 7	
1580	0,1588	0,1588	0,1588	0,1588	0,1596	0,1596	0,1596	0,1596	0,1600	0,1600	0,1600	0,1600	0,1600	0,1600			1	9	9	
1918	0,1916	0,1929	0,1929	0,1927	0,1927	0,1929	0,1929	0,1929									5	3	16	1
2261	0,2261	0,2268	0,2266	0,2279	0,2279	0,2278	0,2278	0,2281	0,2279	0,2284	0,2281	0,2284	0,2294	0,2294			5	5	12	1
0193	0,0189	0,0186	0,0182	0,0179	0,0178	0,0178	0,0178	0,0178									− 10	− 14	− 17	1
2282	0,2292	0,2292	0,2299	0,2299	0,2299	0,2299											6	16	16	2
2633	0,2643	0,2643	0,2641	0,2651	0,2651	0,2651	0,2656	0,2656	0,2656								6	16	16	1
3001	0,3014	0,3013	0,3022	0,3020	0,3030	0,3030	0,3030	0,3030	0,3030								7	17	16	2
	(Versehen)																			
0354	0,0347	0,0344	0,0339	0,0338	0,0338	0,0338	0,0338										− 9	− 16	− 19	2
3062	0,3064	0,3072	0,3081	0,3081	0,3081	0,3092	0,3088	0,3088	0,3092	0,3092	0,3092	0,3094	0,3094	0,3103	0,3103	0,3100	14	16	24	3
3436	0,3430	0,3440	0,3440	0,3440	0,3449	0,3447	0,3445	0,3452	0,3460	0,3460	0,3460						26	20	30	3
3813	0,3820	0,3828	0,3833	0,3833	0,3813	0,3856	0,3850	0,3850	0,3848	0,3855	0,3862	0,3869	0,3867	0,3871			26	33	11	4
0505	0,0503	0,0490	0,0487	0,0485	0,0483	0,0483	0,0482	0,0482	0,0482								− 17	− 19	− 32	− 3
3844	0,3867	0,3868	0,3877	0,3876	0,3887	0,3887	0,3891	0,3894	0,3896	0,3904	0,3904	0,3902	0,3912	0,3912			4	27	28	3
4256	0,4267	0,4279	0,4273	0,4286	0,4286	0,4299	0,4299	0,4297	0,4307	0,4307	0,4315	0,4315	0,4322	0,4322			16	27	39	3
4687	0,4706	0,4712	0,4714	0,4725	0,4725	0,4736	0,4736	0,4749	0,4749	0,4755	0,4755	0,4765	0,4766	0,4766			17	36	42	4
0746	0,0729	0,0726	0,0706	0,0707	0,0707	0,0707	0,0705	0,0705	0,0705								− 5	− 22	− 25	− 4
4773	0,4733	0,4789	0,4800	0,4800	0,4811	0,4811	0,4811	0,4822	0,4822	0,4822	0,4822	0,4822	0,4931	0,4931			43	43	59	7
5188	0,5211	0,5220	0,5230	0,5241	0,5249	0,5249	0,5255	0,5271	0,5271	0,5268	0,5277	0,5273	0,5289	0,5286			8	31	40	3
5667	0,5683	0,5696	0,5701	0,5710	0,5720	0,5726	0,5737	0,5741	0,5748	0,5760	0,5765	0,5771	0,5778	0,5783			14	30	43	4
1035	0,1032	0,1023	0,1018	0,1016	0,1015	0,1012	0,1010	0,1010									− 25	− 28	− 37	− 4
5789	0,5809	0,5821	0,5831	0,5840	0,5849	0,5849	0,5858	0,5863	0,5869	0,5875	0,5885	0,5881	0,5890	0,5890			24	44	56	6
6280	0,6294	0,6301	0,6319	0,6327	0,6339	0,6315	0,6351	0,6365	0,6375	0,6374	0,6381	0,6391	0,6402	0,6408			30	41	54	6
6779	0,6796	0,6826	0,6833	0,6854	0,6865	0,6876	0,6891	0,6903	0,6913	0,6923	0,6931	0,6948	0,6961	0,6961			28	45	75	8
1462	0,1453	0,1451	0,1448	0,1444	0,1441	0,1435	0,1434	0,1434	0,1434								− 6	− 15	− 17	− 2
6994	0,7021	0,7036	0,7052	0,7060	0,7075	0,7088	0,7098	0,7109	0,7112	0,7125	0,7133	0,7133	0,7146	0,7154			49	76	91	16
7573	0,7600	0,7612	0,7638	0,7651	0,7664	0,7679	0,7693	0,7711	0,7725	0,7733	0,7745	0,7750	0,7762	0,7776			50	77	89	11
8275	0,8313	0,8365	0,8376	0,8401	0,8421	0,8453	0,8473	0,8500	0,8527	0,8544	0,8563	0,8582	0,8602	0,8621	0,8639		70	108	160	17
2337	0,2328	0,2311	0,2306	0,2302	0,2294	0,2292	0,2287	0,2282	0,2280								− 16	− 25	− 42	− 4
8690	0,8725	0,8754	0,8779	0,8800	0,8813	0,8833	0,8853	0,8871	0,8887	0,8901	0,8917	0,8936	0,8953	0,8967			35	70	99	12
9470	0,9520	0,9568	0,9612	0,9631	0,9670	0,9711	0,9737	0,9772	0,9798	0,9846	0,9872	0,9889	0,9921	0,9967	0,9989		15	95	143	1[illegible]
																	—			
—	0,7355	—	0,7433	—	0,7582	—	0,7760	—	0,7757	—	0,7866	—	0,7971	—	0,8086		—	93	—	17
												17	18	19	20					
												—	0,8174	—	0,8227					

Digitized by Google

...eben in 0,001 mm nach Minute											Unterschied der Nachwirkungen für min-n bis n+1																
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
											3	0	12	0	—												
											14	—	2	0	0												
											0	0	0	1													
											15	0	1	—	1	0											
—	—	3																									
											1	0	1	1	0	0	0										
13	14	14	15								12	0	1	1	1	0	1	—	1								
11	16	16	16	16	16	16	16	16	16	22	1	2	3	9	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	6	
20	20	20	23	24	24	24	24	24	24		2	9	0	9	0	0	0	0	5	1	0	0	0	0	0	1	
7	—	7	—	7	—	8	8				2	5	1	0	0	0	0	0	0	—	1	0					
17	17	17	21	21	21	21	21	21	21		1	8	0	0	0	8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
14	16	16	16								5	2	13	0	2	0	+	2	0	0	0						
22	22	22	25	23	28	28	28	38	38		5	0	7	2	13	0	—	1	0	+	3	2	5	0	0	10	0
25	25	25	25								10	4	5	—	4	—	3	—	1	0	0	0					
23	23										0	10	7	—	0	0	0										
34	34	39	29	29							6	10	0	—	2	10	—	0	5	0	0						
33	33	33	33	33							7	10	—	1	9	2	10	0	0	0	0						
25	25	25									9	7	3	—	5	—	1	0	0	0							
33	44	48	49	44	44	44	46	46	55	55	14	2	8	2	0	0	11	1	0	1	0	0	2	—	9	0	
38	32	35	42	50	50	50					26	—	6	10	0	0	2	—	2	7	—	0	0				
56	59	63	63	71	68	75	82	80	84		26	7	8	5	0	10	3	1	0	—	1	0	7	—	2	1	
39	33	40	40	43							17	—	2	13	—	2	2	0	1	0	—						
47	47	54	54	56	64	64	64	62	72	72	4	23	1	9	1	11	0	7	1	2	8	0	2	11	0		
58	58	59	57	67	67	75	75	82	92		16	11	12	0	7	0	13	0	2	10	0	8	0	7	0		
66	66	66	78	78	85	85	85	86	86		17	19	6	2	11	0	11	0	13	0	6	0	10	1	0		
44	44	46	46	46							5	—	17	3	0	—	20	1	0	0	2	0	0				
81	81	81	92	92	92	92	92	104	104		13	16	11	1	17	0	0	0	11	0	0	0	0	12	0		
68	68	75	91	91	88	95	93	102	102		8	23	9	10	11	8	—	6	16	0	—	3	9	1	16	0	
67	78	84	88	95	107	115	124	125	130		11	16	13	5	9	10	6	11	1	7	12	5	6	7	5		
48	48	50	50								25	—	3	9	—	6	—	3	3	2	0						
86	84	93	98	104	110	120	116	125	125		24	20	12	10	9	0	9	9	5	6	6	10	1	0	0		
95	104	115	125	124	131	144	152	158			30	14	10	15	8	12	6	9	11	10	1	7	13	8	6		
125	140	152	162	172	183	197	210	210			28	17	30	7	21	11	8	15	12	10	10	11	11	13	0		
33	34	34	34								—	9	2	3	1	5	6	1	0	0							
143	153	164	167	180	188	188	188	201	200		19	27	15	16	8	15	13	10	11	3	13	8	0	13	8		
156	170	188	202	210	222	237	249	248			50	27	12	26	13	13	15	14	18	11	8	12	5	12	11		
248	268	295	322	333	358	377	395	410			70	38	52	11	28	17	32	20	27	27	17	19	19	20	19		
61	66	71	73								—	3	17	—	4	—	8	2	5	5	2						
178	198	216	232	246	262	281	298	312			41	37	23	25	21	14	20	23	18	16	14	16	13	14	14		
296	312	347	373	421	447	464	476	516			45	0	18	44	17	39	41	24	35	26	18	28	14	32	16		
—	—	538	—	—	535	—	604	—	700	—	820	—	93	—	48	—	140	—	178	—	5	—	109	—	105	—	112
								17	18	19	20																
								—	815	—	933																

Die Abl... dem Einsp... Minute.

Verlauf... Unterbrech...

Nr. Bei 2... gehemm... Öffnen... Waagebe... teilen zu... bei jedes... nahme d... sind die ... durch ... berichtet.

Durch Ver... lasten an...

Das Mat... und wei... leisten i...

Der ... gestellt. ... Nichtbeo... bekannte ... mehr an... schicht. ... Wert... zu... rückgeld... Stufe ... die ... abgerei...

Digitized by Google

Stab 5. Fortsetzung.

Belastung in t	Versuchsreihe nach n Tagen Ruhepause. 2 n=8	3 n=2	4 n=4	5 n=9	Dehnungen innerhalb der einzelnen Versuchsreihen. Gesammtdehnungen 2	3	4	5	Unterschiede in 0,0001 mm 2–3	2–4	2–5	Bemerkungen
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm				
0,25	0,3788	0,4013	0,4257	0,4430	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	—	—	—	
0,50	4095	4328	4566	4740	0307	0315	0309	0310	*) — 8	— 2	— 3	
0,75	4403	4625	4876	5061	0615	0612	0619	0631	+ 3	— 4	— 16	
1,00	4725	4951	5194	5382	0937	0938	0937	0952	— 1	± 0	— 15	
1,25	5039	5272	5510	5703	1251	1259	1253	1273	— 8	— 2	— 22	
1,50	5357	5595	5838	6028	1569	1582	1581	1598	*) — 13	— 12	— 29	
1,75	5680	5916	6156	6361	1892	1903	1899	1931	— 11	— 7	— 39	
2,00	6014	6243	6480	6700	2226	2230	2223	2270	— 4	+ 3	— 44	
2,25	6352	6575	6816	7037	2564	2562	2559	2607	+ 2	+ 5	— 43	
2,50	6681	6915	7160	7389	2893	2902	2903	2959	— 9	— 10	— 66	
2,75	7026	7253	7488	7741	3238	3240	3231	3311	— 2	+ 7	— 73	
3,00	7378	7617	7841	8112	3590	3604	3584	3682	— 14	+ 6	— 92	
3,25	7730	7983	8205	8476	3942	3970	3948	4046	— 28	— 6	— 104	
3,50	8096	8346	8572	8849	4308	4333	4315	4419	— 25	— 7	— 111	
3,75	8377	8715	8934	9228	4689	4702	4677	4798	— 13	+ 12	— 109	
4,00	8856	9091	9318	9618	5068	5078	5061	5188	— 10	+ 7	— 120	
4,25	9248	9478	9704	1,0025	5460	5465	5447	5595	— 5	+ 13	— 135	
4,50	9658	9889	1,0100	0441	5870	5876	5843	6011	— 6	+ 27	— 141	
4,75	1,0107	1,0329	0537	0883	6319	6316	6280	6453	+ 3	+ 39	— 134	
5,00	0547	0744	0965	1328	6759	6731	6708	6898	+ 28	+ 51	— 139	
5,25	1009	1197	1403	1806	7221	7185	7146	7376	+ 36	+ 75	— 155	
5,50	1534	1690	1903	2331	7748	7677	7646	7901	+ 71	+ 1	— 153	
5,75	—	—	—	2934								
6,00				3750								
6,25				Fließen								
6,00				1,9*)								
6,25				2,1								
6,50				2,2								
6,75				2,6								
7,00				5,1								
7,10				9,2								
7,15				—								
7,075				—					Bruch.	Bruchdehnung = 16,4 mm.		

*) Stab wird herausgenommen, nachgemessen und am folgenden Tage nach 19 Stunden Ruhe weiter geprüft. Kolbengeschwindigkeit etwa 0,7 $\frac{mm}{min}$.

Die Zahlenwerthe aus Tabelle 8 sind für die Verzeichnung der Schaulinien auf Tafel II benutzt worden.

Die allgemeine Form der Zerreißungs-Schaulinien geht aus den fünf Linien der Gruppe I, Fig. 5 hervor. In derselben sind die einzelnen Linien mit den Versuchsnummern bezeichnet, und man erkennt unschwer, daß die Uebereinstimmung der Versuche eine befriedigende zu nennen ist, wenn man bedenkt, daß die Versuchsbedingungen so sehr von einander verschieden gewesen sind. Auf die vorhandenen Abweichungen und deren Ursachen wird man später zurückkommen müssen. In Fig. 3 ist das vollständige Schaubild für den ersten Theil des Versuches 2 in sehr großem Maßstabe gegeben, während in Fig. 2 die Bilder der Versuche 1 bis 5 in gleichem Maßstabe über einander gezeichnet sind, um dem Leser den unmittelbaren Vergleich zu gestatten; auch hier geben die an die Enden der Linienzüge geschriebenen Zahlen die Versuchsnummer. Fig. 1 giebt im Linienzuge A die Schaulinie für den Versuch 5 in größerem Maßstabe. In den Fig. 6 bis 10 endlich sind die Gesetze der Fließvorgänge zur Darstellung gebracht, wie sie später zu besprechen sein werden.

Die allgemeinen Vorgänge während des Zerreißversuches mit Magnesium lassen sich am besten aus Fig. 2 erkennen. In Gruppe D zeigt die sofortige stete Krümmung, daß

Digitized by Google

auch beim Zerreißversuch von dem Bestehen einer Proportionalitätsgrenze nicht die Rede sein kann, was auch aus dem Verlauf der Liniengruppe G unzweifelhaft zu ersehen ist, welche die Dehnungsunterschiede für je 250 kg Belastungszuwachs darstellt und von Anfang an gegen die Nullinie geneigt ist. Wie man sieht, würde man den ersten Theil der Linienzüge in Gruppe G füglich durch eine gerade Linie ersetzen können, demgemäß dürfte der Verlauf der Zerreißungsschaulinie für Magnesium in dem vorliegenden Zustande bis zu etwa 4 t Belastung, d. i. bis zu einer Spannung von 12,7 $\frac{kg}{qmm}$ im Allgemeinen ein parabolischer sein. Die Streckgrenze für Zugbeanspruchung kann man nach dem Ausfall der Schaulinien in Gruppe L Fig. 5, noch besser aber nach demjenigen der Dehnungsunterschiede Gruppe G Fig. 2 auf 5,5 bis 6,0 t Belastung oder 17,5 bis 19,1 $\frac{kg}{qmm}$ Spannung und eine Dehnung von etwa 1 bis 1,4 mm, d. i. etwa 0,7 bis 0,9% festlegen. Auch hier ist ausdrücklich hervorzuheben, daß eine genauere Bestimmung kaum möglich und auch von keinem praktischen Werthe sein dürfte, zumal die in der Regel zu Gebote stehenden Bestimmungshülfsmittel je nach ihrer Art von den vorstehenden mehr oder weniger abweichende Werthe ergeben können, wie dies aus einem Vergleich der in Tabelle 10 gegebenen mittleren Lage der Streckgrenze sofort erhellt. Tabelle 10 enthält die in das amtliche Attest aufgenommenen Zahlenwerthe und verzeichnet die mittlere Streckgrenze mit 19,0 $\frac{kg}{qmm}$. Auf die Bestimmung der Streckgrenze überhaupt und für Magnesium im Besonderen muß übrigens später nochmals zurückgegriffen werden.

In Fig. 2 giebt die Liniengruppe E die elastische und Gruppe F die bleibende Verlängerung für die jeweiligen Belastungen an, während H das Verhältniß beider darstellt. Das Letztere ist bei geringen Belastungen sehr groß, weil die bleibende Verlängerung, wenn sie auch beim Magnesium von Anfang an eintritt, sehr gering ist. Das Verhältniß nimmt aber sehr schnell ab, so daß es bei 1 t Belastung schon auf etwa 15 bis 30 herabgesunken ist und sich von hier aus etwas langsamer der Nullinie nähert, wobei es schließlich kleiner als 1 werden muß, weil die bleibende Dehnung alsdann die elastische überwiegt. In dem Schaubilde konnte dieser Umstand nicht zum Ausdruck kommen, weil die Entlastungen nicht bis in diesen Theil desselben fortgesetzt wurden. Man wird sich aber die Liniengruppen E und F leicht bis zu ihrem Schnittpunkt fortgesetzt denken können und so finden, daß derselbe bei etwa 6 t Belastung oder 19,1 $\frac{kg}{qmm}$ Spannung liegen dürfte. Hieraus würde hervorgehen, daß nahezu mit Erreichung der Streckgrenze elastische und bleibende Dehnung einander gleich werden.

Wendet man sich nunmehr der Betrachtung von Fig. 3 zu, so wird zu bemerken sein, daß die gebrochene Linie i der Gruppe J (die Schaulinie für Versuch 2) mit den feinpunktirten und ausgezogenen schrägen Linien ein Bild von den unter den einzelnen Belastungen (und Entlastungen) erzeugten Längenänderungen ergiebt. Die Länge der dick ausgezogenen Strecken zeigt stets die durch die jeweilige Belastung innerhalb der ersten fünf Minuten erzielte Verlängerung, beziehentlich die innerhalb der ersten drei Minuten nach der Entlastung erfolgte Verkürzung an. Man erkennt ohne Umschweif, daß diese Strecken mit wachsender Belastung länger werden, d. h. also, die Geschwindigkeit der Dehnung, die „Fließgeschwindigkeit“ wächst mit wachsender Belastung. Aehnliches gilt auch von den Verkürzungen nach erfolgter Entlastung, auch hier wächst in diesem Falle die „Fließgeschwindigkeit“ (die Geschwindigkeit der Verkürzung) mit der Größe der unmittelbar vorausgehenden Belastung.

Digitized by Google

Am meisten auffallend bei diesen Vorgängen dürfte der Umstand sein, daß die Verkürzungen nach geschehener Entlastung beim Magnesium in so erheblichem Grade auftreten und so ausgesprochene Abhängigkeit von der Größe der vorangegangenen Belastung zeigen. Man wird unschwer bemerken, daß man es mit den im geringeren Grade auch bei anderen Materialien bereits nachgewiesenen sogenannten „Nachwirkungserscheinungen" zu thun hat und erkennen, daß diese Nachwirkungen auch bei den Streckungen unter einer bestimmten ständigen Belastung, dem „Nachfließen", eine Rolle spielen müssen. Unzweifelhaft dürften diese Vorgänge die Aufmerksamkeit des Lesers in hohem Grade in Anspruch nehmen, und es soll deswegen versucht werden, die Gesetzmäßigkeit möglichst klar zum Ausdruck zu bringen.

Die Nachwirkungserscheinungen nach erfolgter Entlastung sind aus den Versuchsergebnissen und dem Schaubilde Fig. 3 ohne Weiteres in die Augen springend; sie treten ungetrübt durch die begleitenden Umstände als Wirkung zu Tage, nachdem die erzeugende Ursache die Aenderung der äußeren Kraft bereits aufgehört hat zu sein, der Körper verkürzt sich noch minuten-, stunden-, tage-, ja wahrscheinlich sogar wochenlang, obwohl eine äußere Kraft nicht mehr auf ihn einwirkt. Es erhellt dies zunächst aus der Tabelle 8 Versuch 2, woselbst für die Entlastung von 4 t auf 0,25 t bei einer 42stündigen Ruhepause eine erhebliche Verkürzung eingetreten ist. Der Stab war während dieser Pause in der Maschine verblieben und die eingetretene Verkürzung hatte eine Vermehrung der Anspannung erzeugt, welche bei Wiederbeginn des Versuches dadurch erwiesen werden konnte, daß sich der Stab noch um 0,0076 mm elastisch zusammenzog, als die Belastung durch Oeffnen des Ablaßventils wieder auf 0,25 t zurückgeführt wurde. Eine Anspannung infolge etwaiger Undichtigkeit des Zuströmungsventils ist ausgeschlossen, weil der zwischenliegende Tag ein Sonntag war, also auch der Druckerzeuger außer Thätigkeit sich befand. Auch bei Stab 5 ergab sich bei den weiter oben bereits besprochenen Nachmessungen auf der Theilmaschine selbst nach mehrtägigen Ruhepausen stets eine erhebliche Nachwirkungsverkürzung, wie aus der letzten Spalte der folgenden Zusammenstellung, Tabelle 9 (S. 31) ersichtlich ist.

Auch die Versuchsreihe 1 zum Stab 5 läßt die Nachwirkungsverkürzung erkennen; sie tritt hier noch viel deutlicher hervor als bei Stab 2, weil die Zahl der Einzelbeobachtungen bei den Entlastungen eine viel größere ist. Um aber dem Leser das Gesetz des Verlaufes dieser Nachwirkungsverkürzungen noch besser vor Augen zu führen, sind die Schaulinien in Figur 4 und 9 eingetragen. Die mit 1, 2 und 3 Minuten bezeichneten Linien der Gruppe K (links von der Nullinie) stellen für den Stab 2 das Gesetz der Zunahme der Nachwirkungsverkürzung mit der Höhe der vorangehenden Belastung dar, und zwar ist ein Theilstrich des Längenmaßstabes = 0,0100 mm. Gruppe Q Fig. 9 giebt das gleiche Gesetz für die Nachwirkungsverkürzung des Stabes 5 an, nur ist die Darstellung hier wegen der besseren Anordnung der Tafel um 90° gegen Figur 4 verdreht, sodaß die Längenmaße von oben nach unten, die Belastungen aber von links nach rechts zählen. Wenn man von dem Knick absieht, den zufällig beide Linengruppen bei den Maßstabpunkten 5 beziehentlich 4, 5 t zeigen, so wird man bemerken, daß die Größe der Nachwirkungsverkürzung in beiden Fällen ganz ausgesprochen gesetzmäßig mit der Größe der der Entlastung vorangegangenen Belastung wächst, und zwar darf man den Linien wohl eine ganz schwache Krümmung zuschreiben, deren Hohlseite gegen die Nullinie gekehrt ist. Aus diesem Umstande würde sich sodann ergeben, daß die Nachwirkungsverkürzung langsamer wächst als die vorangängige Belastung. Die beiden Knicke in den Liniengruppen dürften keinen wesentlichen Einfluß auf diese Schlußfolgerung üben, weil sie sehr wahrscheinlich dadurch entstanden sind, daß es dem Beobachter nicht gelungen ist, die betreffenden Ent-

Digitized by Google

Tabelle 9.

Verkürzungen des Zugversuchsstabes Nr. 5 während der mehrtägigen Ruhepausen.

Der Stab wurde auf der Theilmaschine bei Zimmerwärme mikrometrisch mit den Theilstrichen 24 u. 9 cm des Messing-Normalstabes verglichen. 1 R = 0,1234 mm.

Ruhepause von	Messung vor dem Versuch		Messung gleich nach dem Versuch		Verlängerung während des Versuches mm	Verkürzung während der Ruhepausen mm
	150 + R	mm	150 + R	mm		
	3,00		3,51			
0 Tagen	12		46			
	07		48			
	02		38			
	04		39			
	04		47			
	18		25			
	04		30			
	12		29			
	09		41			
Summe	30,72		33,84			
Mittel	3,07	150,379	3,39	150,418	0,039	
	3,24		3,67			
2 Tagen	20		56			
	23		62			
	31		64			
	29		64			
	30		38			
	34		38			
	41		36			
	13		42			
	11		39			
Summe	32,56		35,06			
Mittel	3,26	150,401	3,51	150,433	0,032	0,017
	3,30		3,77			
4 Tagen	37		60			
	39		78			
	60		69			
	48		60			
	39		74			
	36		71			
	58		76			
	53		73			
	49		58			
Summe	34,49		36,98			
Mittel	3,45	150,426	3,70	150,457	0,031	0,007
	3,82		4,61			
9 Tagen	44		93			
	67		71			
	49		76			
	64		5,05			
	53		4,95			
	72		83			
	65		94			
	53		80			
	44		69			
Summe	35,93		48,27			
Mittel	3,59	150,443	4,83	150,596	0,153	0,014
	4,79					
19 Stunden	94					
	62					
	62					
	79					
	79					
	90					
	86					
	73					
	67					
Summe	47,71					
Mittel	4,77	150,589				0,007

Digitized by Google

lastungen mit der gleichen Regelmäßigkeit vorzunehmen, die er im Allgemeinen inne zu halten bemüht war. Da stets mit dem Glockenschlage der vollen Minute abgelesen wurde, so wird man für die erste Ablesung nach einer Entlastung unter sonst gleichen Umständen immer etwas verschiedene Werthe erhalten haben müssen, wenn die Waage kürzere oder längere Zeit vor dem Minutenschlage zum Einspielen kam. Dieser Umstand muß dann natürlich einen solchen Knick aller Linienzüge veranlassen, wie ihn die beiden Gruppen K und Q zeigen. Eine andere Fehlerquelle, welche ebenfalls den Linienlauf beeinflußt, wird später noch zu besprechen sein.

Wesentlich verwickelter und schwieriger zu verfolgen sind die Nachwirkungserscheinungen, welche während der Belastung des Stabes auftreten. Sie äußern sich hier bekanntermaßen darin, daß ein nicht ganz vollkommen elastischer Körper nicht sofort die ihm der erhaltenen Belastung nach zukommende Dehnung annimmt, sondern hierzu eine mehr oder minder lange Zeit braucht. Daß man bei den Nachwirkungserscheinungen nicht immer, wie dies in der Regel zu geschehen pflegt, nur von elastischen Nachwirkungen reden kann, scheint aus dem Verhalten des Magnesiums hervorzugehen, und es wird deswegen im Nachfolgenden wie im Vorausgehenden vermieden werden, von den „elastischen Nachwirkungen" im Besonderen zu sprechen. Man dürfte erkennen, daß diese Erscheinungen in dem zu erläuternden Gebahren des Magnesiums enthalten sind, aber auch finden, daß die elastische Nachwirkung und die Erscheinungen des „Nachfließens", wenn sie sich auch keineswegs decken, doch kaum auseinander zu halten sind. Das Wort „Nachfließen" soll im Folgenden benutzt werden, wenn man von dem Fließen unter einer gleichbleibenden Belastung spricht, während durch das Wort „Fließen" ganz allgemein der Formänderungsvorgang bezeichnet werden soll, sobald mit demselben eine bleibende Formänderung verbunden ist. Es dürfte zur Vermeidung von Mißverständnissen noch hinzuzufügen sein, daß es sonst wohl allgemein üblich ist, zu sagen, „das Material fließt", sobald es die „Streckgrenze" überschritten hat. Die Streckgrenze ist aber, wie bereits früher gesagt, überhaupt kein ganz fester Begriff, und beim Magnesium kann man sie, je nach den zu Grunde liegenden Anschauungen, auf eine sehr geringe Belastungsstufe verlegen, oder, wie es weiter oben geschehen, auf etwa

6 t oder 19 $\frac{\text{kg}}{\text{qmm}}$ Spannung bestimmen.

Man erkennt den Einfluß der Nachwirkungserscheinungen während der Wiederbelastung am besten aus folgenden Umständen. In Liniengruppe J Fig. 3 findet man unterhalb der das Nachfließen bezeichnenden stark ausgezogenen Strecke bei jeder halben Tonne ein |__|-förmiges Zeichen, dessen Länge den Betrag des Nachfließens während der ersten fünf Minuten nach erfolgter Wiederbelastung angiebt. Wenn man die gegenseitige Lage je zweier zusammengehöriger solcher Strecken, der ausgezogenen der darunter befindlichen |__|-förmigen vergleicht, so erkennt man, daß bis zu etwa 5 t Belastung der Anfang des unteren Zeichens gegen das Ende des oberen zurückzustehen pflegt, d. h. bei erfolgender Wiederbelastung ist die erreichte Gesammtdehnung eine geringere, als sie bei der gleichen Last vor der Entlastung gewesen ist. Man erkennt jedoch auf gleiche Weise, daß die unmittelbar beim Einspielen erreichte Gesammtdehnung und ebenso die am Ende der ersten 5 Minuten nach dem Einspielen erreichte Gesammtdehnung bei dem Wiederbelasten in der Regel größer ist als bei der gleichen Last vor der Entlastung. Hiervon macht die Wiederbelastung bei 4 t eine Ausnahme, weil das Nachfließen nach der Wiederbelastung hier einen wesentlich geringeren Betrag zeigt, als vor der Entlastung. Wie man sich erinnern wird, hat vor der Wiederbelastung eine 42stündige Ruhepause stattgefunden, während welcher der Stab dem Zurückfließen mehr unterlegen ist, als während der sonst zugelassenen Pausen

Digitized by Google

von drei Minuten. Er hat, um mit Bauschinger zu reden, seinen Zustand mehr verändern können, als in jenen drei Minuten.*) Man erkennt namentlich an dem letzten Falle, wie der Einfluß der Nachwirkungsverkürzung sich selbst durch den folgenden Zustand entgegengesetzten Fließens des Materiales hindurch wahrnehmen läßt. Mehr noch aber wird sich diese Ueberzeugung befestigen, wenn man Folgendes beachtet: In Fig. 1 geben die beiden Linienzüge B die Dehnungsunterschiede für je 0,25 t Belastungszuwachs an. Es wird die große Uebereinstimmung auffallen, mit welcher sich die einzelnen Zacken in beiden Linien wiederholen. Durch die eingezeichneten Kreise sind jedesmal diejenigen Dehnungsunterschiede bezeichnet, welche während der der Entlastung vorausgehenden Belastungsstufe erzielt wurden. Mit Berücksichtigung des allgemeinen Strebens des Anwachsens mit steigender Belastung findet man, daß die Dehnungsunterschiede der ersten Belastungsstufe nach der vorausgehenden Entlastung gegen diejenigen der Belastungsstufe vor der Entlastung zurückbleiben. Das Material verharrt gewissermaßen in dem rückläufigen Bewegungszustand, den es bei der Entlastung angenommen hat, auch dann noch, wenn es bereits eine beträchtliche Bewegung im entgegengesetzten Sinne wieder durchgemacht hat. Bildlich hat man sich diese beiden entgegengesetzten Wirkungen gleichzeitig und durcheinander verlaufend zu denken; dem Betrage nach wiegt die Bewegung im Sinne des letzten Anstoßes vor, während diejenige im andern Sinne beträchtlich gedämpft ist und sich allmählich verliert. Ganz dieselbe Betrachtungsweise wird für die Entlastung gelten; auch hier wird die vorher bereits eingeleitet gewesene Bewegung im widerstrebenden Sinne nachwirken, aber an Energie allmählich verlieren. Denkt man sich die Be- und Entlastungen schnell einander folgend, so wird man begreifen, daß diese Vorgänge sehr wohl in zweiter und dritter Ordnung sich wiederholen können, so daß also der vorletzte, zweitletzte, drittletzte u. s. w. Bewegungszustand noch seine Nachwirkungen auf den vorausgehenden äußern können, wenn auch jeweils in einem erheblich schwächeren Maße. Diese Vorstellungsweise läßt auch erkennen, welchen wissenschaftlichen Werth Dauerversuche mit Magnesium unzweifelhaft haben müssen. Sie ist keineswegs zurückzuweisen, da ähnliche Vorgänge bei Torsionsschwingungen an belasteten Drähten in der That bereits beobachtet sind.**) Die Aluminium- und Magnesium-Fabrik in

*) Da übrigens die hier für das Magnesium festgestellten Erscheinungen sich eng an die von Bauschinger mit anderen Materialien erhaltenen Ergebnisse anschließen, so sei der interessenehmende Leser auf die höchst werthvollen Arbeiten Bauschinger's über: „Die Veränderungen der Elasticitätsgrenze und des Elasticitätsmoduls verschiedener Metalle", „Civilingenieur" 1881 S. 289, verwiesen.

**) E. Warburg, Verhandlg. d. natf. Ges. zu Freiburg i. B., Bd. VII S. 444 u. f., sagt, indem er zugleich über die Ergebnisse anderer Forscher berichtet:

„Beim Kupfer zeigte sich die Schwingungsdauer abhängig von der seit einer Spannungsänderung verflossenen Zeit, und zwar mit wachsender Zeit abnehmend, mochte die Spannungsänderung in einer Zu- oder Abnahme der Spannung bestehen. Dasselbe haben Pisati und P. M. Schmidt für die Dämpfungsconstanten bei verschiedenen Metallen gezeigt." —. „Wenn man einen Draht (Kupfer), dem eine gewisse permanente Torsion ertheilt worden ist, belastet, so entzieht man ihm dadurch, wie Wiedemann gezeigt hat, dauernd einen Theil seiner permanenten Torsion; bei einer folgenden Entlastung bleibt nämlich die verkleinerte Torsion bestehen oder verringert sich noch mehr. Wiederholte Belastung und Entlastung wirkt in demselben Sinne mit abnehmender Intensität und schließlich gelangt der Draht in einen Zustand, in welchem eine dauernde Aenderung der permanenten Torsion durch Belastung und Entlastung nicht mehr eintritt." — Die hier anschließenden Bemerkungen Warburg's zeigen noch weiter, wie schließlich auch unter abgeänderten Versuchsverhältnissen ein Beharrungszustand des Materiales erreicht wurde.

Aehnliche Versuche anderer Forscher haben ergeben, daß die Schwingungsnullage bei Torsionsschwingungen von Drähten nach der Richtung des ersten Anstoßes sich verschiebt, daß sie beim Anstoß in entgegengesetzter Richtung sich im gleichen Sinne zurück bewegt, sowie daß der Sinn der vorausgehenden Antriebe sich als von Einfluß auf die Größe der folgenden erweist.

Digitized by Google

Bremen hat sich übrigens schon bereit erklärt, das nöthige Material zur Verfügung zu stellen, so daß zweckentsprechende Dauerversuche eingeleitet werden können, sobald die Maschinen hierfür frei sind. Diese Versuche müßten hauptsächlich die immerhin noch offene Frage zu lösen suchen, ob man nicht trotz der Eigenthümlichkeit des Magnesiums, bei den Festigkeitsversuchen von Anfang an bleibende Formänderungen zu zeigen, es doch mit einem Körper zu thun hat, der sich als wesentlich vollkommener elastisch erweisen würde, wenn man den Versuch sehr langsam ausführen könnte, der also unter diesen Umständen eine bleibende Formänderung bei geringeren Belastungen nicht zeigt, wenn man ihm Zeit läßt, die Nachwirkungserscheinungen jedesmal so lange zu vollziehen, bis die Bewegung gleich Null geworden ist. Würde man einen Körper mit den eben geschilderten Eigenschaften innerhalb der Grenzen seiner solchergestalt vollkommenen Elasticität einem Dauerversuch unterziehen, so ist zu vermuthen, daß er hierbei eine sehr große Zahl von Beanspruchungen wird ertragen können.

Durch die vorstehenden Erörterungen wird übrigens die Untersuchung der wissenschaftlich wichtigen Frage nahe gelegt, wie sich der Fließvorgang, speciell der Verlauf der Fließgeschwindigkeit, beim Magnesium unter wachsenden Belastungen gestaltet. Bezüglich der Nachwirkungsverkürzungen ist diese Frage zum Theil schon besprochen. Für den Versuch 2 ist in Fig. 4 Gruppe K rechts von der Nullinie das Gesetz der Zunahme der Fließgeschwindigkeit mit wachsender Belastung durch die mit 1 bis 5 Minuten bezeichneten Linien gegeben. Die Abstände dieser Linien von der Nullinie geben die Beträge, um welche sich der Stab bei den verschiedenen Belastungen während der ersten bis fünften Minute nach dem Einspielen der Last verlängert. Ganz ähnlich, nur um 90° verdreht, zeigt Fig. 10 die gleichen Vorgänge für den Versuch 5 innerhalb der ersten 15 Minuten nach der Belastung. Aus beiden Liniengruppen erkennt man ohne Weiteres, daß der allgemeine Verlauf der Linien bis zu einer Belastung von etwa 4,5 t gleich 13,3 $\frac{\text{kg}}{\text{qmm}}$ durch eine schwach gekrümmte Linie wiedergegeben werden kann, deren Bug der Nullinie zugekehrt ist. Nach Ueberschreitung dieser Grenze nimmt die Krümmung der Linien, im gleichen Sinne also auch die Fließgeschwindigkeit sehr schnell zu. Würde man die Lage der Streckgrenze nach diesem Verhalten festlegen wollen, was an sich, wenn auch oft praktisch schwierig, so doch nicht unzulässig sein dürfte, so würde man sie schon bei 13,3 $\frac{\text{kg}}{\text{qmm}}$, also wesentlich niedriger finden, als sie weiter oben nach anderen Gesichtspunkten festgestellt worden ist. Zugleich würde aber alsdann zu ihrer Ermittelung unbedingt die Anwendung von Feinmeßinstrumenten nothwendig werden, denn der Dehnungsunterschied an der Streckgrenze würde in diesem Falle nur etwa 0,003 mm in der ersten Minute betragen.

Das Gesetz der Fließgeschwindigkeiten kann aber auch noch in anderer Weise dargestellt werden, wie es z. B. für den Versuch 5 in Fig. 8 geschehen ist. Hier sind die seit dem Einspielen der Last erreichten Nachfließdehnungen als Ordinaten, die zugehörigen Zeitminuten als Abscissen aufgetragen; an die Enden der so erhaltenen Linienzüge in Gruppe O sind die Belastungen in Tonnen geschrieben, welchen sie entsprechen. Gruppe P giebt in gleicher Weise die Linien, welche den Nachwirkungsverkürzungen entsprechen. Aus dem Verlauf der Linien erkennt man, daß dieselben im Allgemeinen sich durch eine Schaar von einfach gekrümmten Linien ersetzen lassen, welche vom Strahlungspunkt Null ausgehend ihre Hohlseiten der Nullinie für die Ordinaten zukehren. Es würde aber schwer sein, weitere Schlüsse zu ziehen, weil die Linien noch zu viel Unregelmäßigkeiten zeigen. Um sich also über den Verlauf eine größere Klarheit zu verschaffen, wird man versuchen müssen,

Digitized by Google

aus den für die einzelnen Zeitminuten gefundenen Längenänderungen innerhalb der einzelnen Zeitabschnitte, also aus den Dehnungsgeschwindigkeiten, die Eigenschaften der Linien abzuleiten. Dies ist an einzelnen Beobachtungsreihen in Fig. 6 geschehen; dieselben entsprechen den bei der am Kopf der Ausgleichslinien verzeichneten Belastung gewonnenen Ablesungen des Versuches 5, also den in Fig. 8 Gruppe O gegebenen Linienzügen. Die Linien der Gruppe M zeigen allerdings ganz erhebliche Schwankungen, aber dennoch ist es möglich, für die einzelnen Züge Ausgleichslinien zu verzeichnen, welche wenigstens angenähert das in den einzelnen Zügen steckende Beschleunigungs-Gesetz zum Ausdruck bringen. Man findet, daß alle diese Ausgleichslinien sich in einfacher Krümmung der Nullinie nähern, wobei sie derselben den Bug zukehren. Demgemäß hat innerhalb der Grenzen des Versuches durchweg eine Verzögerung (negative Beschleunigung) stattgefunden. Die den höheren Belastungen entsprechenden Linien würden die Nullinie wahrscheinlich auch nach wesentlich längerer Zeit nicht erreichen, als sie auf die einzelnen Versuchsreihen verwendet werden konnte. Die den minderen Belastungen entsprechenden Züge hingegen scheinen nach mehr oder weniger kurzer Zeit die Nullinie zu erreichen, was innerhalb der ersten 15 Minuten nach dem Einspielen der Last bis zur Belastung von 2 t, also bis zu $6{,}4\ \frac{\text{kg}}{\text{qmm}}$, der Fall zu sein scheint. Die bedeutenden Schwankungen, welche die Linien zeigen, rühren von dem Umstande her, daß es nicht möglich gewesen ist, die Versuche ohne eine störende Beeinflussung des Materiales auszuführen.

Während des Nachfließens sinkt nämlich naturgemäß der Waagehebel der Maschine auch dann, wenn die Kolbenmanschetten vollkommen dicht sind, und man muß demgemäß von Zeit zu Zeit das Ventil öffnen, um die Waage wieder zum Einspielen zu bringen. Hierbei kommt dann die Trägheit der in Bewegung zu setzenden Massen hinzu und verursacht eine Ueberlastung des Materials in der Weise, wie es vom Assistenten Kirsch in seiner Arbeit: Beitrag zum Studium des Fließens, insbesondere beim Eisen und Stahl Seite 69 dieses Jahrganges der „Mittheilungen" näher ausgeführt worden ist. Hierdurch wird nun bei dem in dieser Beziehung sehr empfindlichen Material jedesmal ein Anstoß zu schnellerem Fließen gegeben. Um also diesen Einfluß auf die Einzelwerthe der Beobachtung kenntlich zu machen, sind die betreffenden Punkte mit kleinen Kreisen umgeben, wenn vor der Ablesung eine Neueinstellung der Waage stattgefunden hatte. In Tabelle 8 sind die betreffenden Zahlen fett gedruckt.

Man ersieht aber aus Vorstehendem auch, wie wichtig es ist, für wissenschaftliche Untersuchungen die Forderung festzuhalten, welche von Pfaff*) dahin in Worte gekleidet worden ist, daß bei einer Festigkeitsprüfungsmaschine niemals der kraftmessende Theil die Rolle des Spannwerkes übernehmen darf, eine Forderung, die ganz streng allerdings wohl nicht erfüllt werden kann. Aber auch für praktische Zwecke wird es schließlich der Zielpunkt werden, dieser Forderung möglichst vollkommen zu genügen.

Die zuletzt besprochenen Gesetze würden sich viel reiner und schärfer ergeben haben, wenn bei den Versuchen diese Bedingung erfüllt gewesen wäre. Um aber zu zeigen, bis zu welchem Grade der Uebersichtlichkeit man die Versuchsergebnisse auf zeichnerischem Wege auch bei nicht ganz unbeeinflußten Versuchsergebnissen zu bringen vermag, wenn die Einzelreihen lang genug und planmäßig angeordnet sind, muß hier die Besprechung der Schaulinien über die Fließgeschwindigkeiten noch weiter geführt werden.

Das Gesetz der Abhängigkeit der Fließgeschwindigkeiten, beziehentlich ihrer Beschleu-

*) Pfaff: „Ueber Maschinen zur Untersuchung der Festigkeit der Materialien." Mittheilungen des Technolog. Gewerbemuseums, Wien 1885/86.

Digitized by Google

nigung von der Größe der Belastung und der Zeitdauer des Nachfließens kann offenbar in seinem ganzen Umfange durch eine Fläche mehrfacher Krümmung, durch eine „Schaufläche" dargestellt werden, welche man erhält, wenn man sich die Ausgleichslinien Fig. 6 in Verticalebenen gleichen Abstandes hinter einander so aufgetragen denkt, daß die den gleichen Zeitabschnitten entsprechenden Punkte der einzelnen Linien wiederum in Verticalebenen gleichen Abstandes fallen, die senkrecht zu den erstgenannten stehen. Die Verbindungslinien der Schnittpunkte dieser Ebenen mit den Ausgleichslinien würden Linienzüge liefern, wie sie in Fig. 7 über einander gezeichnet sind. Die Spur der durch die Ausgleichungslinien gelegten Fläche mit der wagerechten Nullebene würde angeben, bei welcher Belastung, beziehentlich nach welcher Zeit die Nachfließgeschwindigkeit gleich Null wird, das heißt, unter welchen Umständen die Nachfließbewegung zum Stillstand gebracht werden kann. Die Kenntniß des Verlaufs dieser Spur würde wissenschaftlich wie praktisch von hohem Werthe sein, weil man hiernach die Größe der zulässigen Zugbeanspruchung für das Magnesium bestimmen könnte. Es leuchtet ein, daß alle diejenigen Belastungen, für welche die betreffenden Beschleunigungslinien die Nullebene nicht mehr erreichen, schließlich zum Bruch des Versuchsstückes geführt haben würden, wenn man nur den Versuch lange genug fortgesetzt haben würde. Leider läßt sich aus den gegenwärtigen Untersuchungen darüber nichts aussagen, ob in allen diesen Fällen das Nachfließen schließlich mit gleichbleibender Geschwindigkeit (ohne Beschleunigung) stattfinden, oder ob vor dem Bruche noch eine Beschleunigung eintreten wird. Man kann deswegen über den späteren Verlauf der Beschleunigungsschaufläche keine weitere Aussage machen und muß es ferneren Versuchen überlassen, über die hier noch offen bleibenden Fragen Aufschluß zu geben.

Offenbar kann man nach ganz den gleichen Gesichtspunkten sich auch die Linienzüge der Gruppen O und R sowie P und Q Fig. 8 bis 10 zu Schauflächen zusammen gezogen denken, und man wird ohne Weiteres einsehen, daß man hier zwei Schauflächen erhalten würde, welche in ununterbrochener Folge alle Werthe der Nachfließformänderungen angeben, welche man durch Anwendung einer beliebigen Belastung in einer beliebigen Zeit erhalten haben würde. Diese beiden Schauflächen müssen offenbar die folgenden Eigenschaften haben. Die eine derselben, welche die Nachfließbewegungen während der Belastung veranschaulicht, wird, der gewählten Anordnung entsprechend, über der wagerechten Nullebene liegen, die andere, welche den Nachfließbewegungen (Verkürzungen) nach der Entlastung entspricht, wird unterhalb jener Nullebene zu denken sein. Beide Flächen müssen gemeinsame Spuren mit jener Nullebene haben, und zwar fallen dieselben mit den Nullinien für die Belastungs- und Zeitgrößen zusammen, denn bei der Belastung Null und bei der Zeit Null würde ein Nachfließen im einen oder andern Sinne nicht stattfinden können. Ueber den Verlauf der beiden Flächen nach den beiden Hauptrichtungen kann eine Vermuthung ebenso wie bei der Beschleunigungsschaufläche nicht ausgesprochen werden; hierfür würde die Durchführung weiterer Versuche nothwendig sein. Ueber die Gestalt der Schauflächen innerhalb des Rahmens des Versuches wird man sich aus den dargestellten Liniengruppen leicht Aufschluß verschaffen können, so daß eine weitere Besprechung entfallen darf.

Der Versuch 5 sollte auch über das Verhalten des Magnesiums bei mehrmaliger Beanspruchung auf Zug innerhalb derselben Grenzen Aufschluß geben; er ist deswegen noch viermal zwischen den Belastungen 0,25 und 5,5 t geprüft und erst bei der letzten Versuchsreihe zum Bruche gebracht worden. Zwischen den einzelnen Versuchsreihen sind jedesmal mehrere Tage verstrichen, während welcher der Stab in Ruhe blieb. Vor und nach jedem Versuch wurde seine Länge in der bereits besprochenen Weise festgestellt. Die Versuchsergebnisse sind in den Tabellen 8 und 9 niedergeschrieben und in Fig. 1 als Schau-

Digitized by Google

linie dargestellt. Die näheren Angaben über die Versuchsausführung sind in den Tabellen enthalten. Man erkennt, daß die Belastungslinien der Wiederbelastung steiler ausfallen und eine geringere Krümmung besitzen, als die der ersten Belastung entsprechenden Linien. Bei der wiederholten Belastung innerhalb derselben Grenzen zeigen die Linien nahezu parallelen Verlauf. Nach jedem Versuch ist eine bleibende Verlängerung des Stabes eingetreten. Die Einzelheiten und genaueren Vergleiche müssen aus den Tabellen 8 und 9 abgeleitet werden. In der zweiten Zahlengruppe von Tabelle 9 (Stab 5, Versuchsreihen 2 bis 5) sind die Ablesungen jedesmal auf die Anfangsdehnung bei 0,25 t Belastung als Nullpunkt bezogen und in der dritten Zahlengruppe sind dann die Abweichungen dieser Ablesungen von der Versuchsreihe 2 angegeben. Man ersieht aus diesen Zahlen, daß die Werthe der beiden Versuchsreihen 3 und 4 nur sehr wenig von Reihe 2 abweichen; die Abweichungen sind anfangs negativ und erreichen hier für Gruppe 3 eine mittlere Abweichung von schätzungsweise etwa — 0,0005 mm, um bei etwa 4 t gleich 0 zu werden und von hier aus bis zur Belastung 5,5 t auf etwa + 0,0050 mm anzuwachsen. Einen ähnlichen Verlauf zeigen die Abweichungen für Versuchsreihe 4, welche anfangs einen mittleren Werth von etwa — 0,0002 mm haben, bei etwa 3 t gleich 0 werden und von hier aus bis zu 5,5 t auf etwa 0,0070 mm anwachsen. Reihe 5 hingegen zeigt ein gleichförmiges, etwas beträchtlicheres Wachsen der Unterschiede in negativem Sinne, welche bei 5,5 t den Werth von etwa 0,0150 mm erreichen. Dieses Verhalten der einzelnen Reihen ergiebt, daß die Belastungsschaulinien für 3 und 4 nahezu gleichlaufend mit derjenigen für Reihe 2 sind, daß nur die oberen Enden etwas stärkere Krümmung zeigen, während die Linie 5 im ganzen einen steileren Verlauf hat, als Linie 2. Aus den beiden letzten Spalten von Tabelle 9 erkennt man, daß die während der einzelnen Wiederholungen der gleichen Belastungsfolge erzielten bleibenden Verlängerungen bei den Reihen 2 bis 4 von 0,0395 auf 0,0309 mm, also um 22 % abnimmt. Die bleibende Verlängerung von Reihe 5 kann mit den früheren nicht verglichen werden, weil hier die Belastung bis auf 6,25 t gesteigert worden ist. Die zwischen den einzelnen Versuchen während der mehrtägigen Ruhepause jedesmal eingetretenen Verkürzungen sind in der letzten Spalte von Tabelle 9 gegeben. Dieselben haben, wie es scheint, keinen ganz gesetzmäßigen Verlauf, jedoch kann man aus nur drei von einander beträchtlich abweichenden Werthen keine sicheren Schlüsse ziehen; der letzte Werth muß außer Betracht bleiben, weil die Belastung eine höhere und der Nachwirkungsbetrag nothwendig beeinflußt gewesen ist.

Es erübrigt nun noch, die Versuchsendergebnisse einer Besprechung zu unterziehen. Zu dem Zwecke ist in Tabelle 10 eine Gegenüberstellung der maßgebenden Werthe aufgemacht.

Tabelle 10.

Zusammenstellung der Endergebnisse aus den Zugversuchen mit Magnesium.

Versuche mit Normalrundstäben von 20 mm Durchmesser.

Stab Nr.	Streckgrenze		Bruchgrenze			Zeitdauer des ganzen Versuches	Angenäherte Geschwindigkeit des Kolbens beim Strecken	Bemerkungen
	Spannung	Dehnung	Spannung	Dehnung % bezogen auf	Querschnittsverminderung			
	kg/qmm	%	kg/qmm	l = 20 mm	%	min	mm/min	
1	18,7	0,81	22,6	8,6	10,7	120		
2	19,5	0,92	23,7	14,6	18,2	170	1	
3	20,3	0,80	23,9	9,1	10,7	14		
4	18,9	0,83	22,5	12,7	14,7	210	0,25	
5	18,7	0,86	23,2	10,6	16,6	—	0,7*)	*) Wiederholt geprüft. *) Beim Zerreißen.
Mittelwerthe	19,2	0,84	23,2	11,1	14,2	—	—	

Digitized by Google

Aus den Schaulinien in Fig. 5 läßt sich für die einzelnen Stäbe die für die Formänderung bis zum Zerreißen erforderliche mechanische Arbeit durch den Flächeninhalt der jeweiligen Schaubilder und der Völligkeitsgrad der letzteren aus dem Verhältniß des jeweiligen Flächeninhaltes zu dem das Schaubild umschließenden Rechteck ableiten. Hieraus und aus dem Körperinhalt des bei den Versuchen ausgemessenen Theiles des Probekörpers (Meßlänge = 150 mm) gewinnt man die specifische, d. h. die von der Einheit des Körperinhaltes geleistete Arbeit. Letztere dividirt durch das Einheitsgewicht, ergiebt die specifische Arbeit, bezogen auf die Gewichtseinheit des Körpers. Alle diese Werthe sind aus den Schaulinien bestimmt und haben die in Tabelle 11 zusammengestellten Ergebnisse geliefert.

Tabelle 11.

Zusammenstellung der Werthe für die Formänderungsarbeiten des Magnesiums bei Zugversuchen.

Stab Nr.	Gesammtarbeit bis zum Bruch mkg	Völligkeitsgrad	Spezifische Arbeit in $\frac{mkg}{ccm}$	Spezifische Arbeit in $\frac{mkg}{gr}$	Bruchspannung (Tabelle 10) kg/qmm	Reißlänge $R = \frac{P}{s}$ ($s = 1{,}75$) km	Kolbengeschwindigkeit während des Streckens mm/min	Gesammtdauer des Versuches min
3	96,1	0,93	2,64	1,16	23,9	13,7	—	14
1	87,9	0,96	1,87	1,07	22,6	12,9	—	120
2	162,0	0,98	3,45	1,97	23,7	13,5	1	170
5	109,2	0,93	2,32	1,32	23,2	13,3	0,7	—
4	125,3	0,95	2,67	1,52	22,5	12,5	0,25	210
Mittel	—	0,95	2,49	1,41	23,2	13,3		

Aus den Tabellen 10 und 11 scheint hervorzugehen, daß die Festigkeitseigenschaften des Magnesiums durch die Geschwindigkeit, mit welcher das Strecken erfolgt, immerhin in einem so hohen Grade beeinflußt wird, daß die Unterschiede in den Endergebnissen sehr wohl bemerkbar werden. Allerdings ist es nicht wohl möglich, aus den vorliegenden Versuchen ein entgültiges Urtheil über die Größe dieses Einflusses zu gewinnen. Zu diesem Zwecke müßten die Versuche zahlreicher und zweckentsprechend angeordnet, womöglich unter Benutzung der Selbstaufzeichnung der Schaulinien durch die Maschine ausgeführt sein, wozu sich später vielleicht noch Zeit finden dürfte. Die Gelegenheit sei übrigens hier benutzt, um nachdrücklich darauf hinzuweisen, daß es bei allen weichen zinnähnlichen Materialien, wie Kupfer, Zink, Magnesium u. a. m., durchaus nothwendig erscheint, daß man bei den Festigkeitsversuchen die Geschwindigkeit, mit welcher das Strecken erfolgt, in Rücksicht zieht, beziehentlich für die Versuchsausführung ganz bestimmte, am besten einheitliche Vorschriften aufstellt, wenn man vergleichbare und eindeutige Ergebnisse erzielen will. Um die Wichtigkeit dieser Forderung klarzustellen, denke man sich, daß vor Gericht die Streitfrage zu entscheiden sei, ob in einem gegebenen Falle bei einer bedeutenden Lieferung die ausbedungene Festigkeit erreicht ist oder nicht. War das fragliche Material beispielsweise Zinkblech (obwohl praktisch für dasselbe selten Festigkeitsvorschriften gemacht werden), so kann die eine der streitenden Parteien den Versuch außergewöhnlich langsam, die andere ihn sehr rasch ausgeführt haben; die erste Partei wird behaupten, die Festigkeit sei erheblich unter der vorgeschriebenen Zahl geblieben, die andere hingegen behauptet mit dem gleichen

Digitized by Google

Recht das Gegentheil, wenn nicht besondere Vorschriften über die Art der Versuchsausführung vereinbart waren. Man kann bei Zink sehr wohl Bruchfestigkeiten erzielen, die um mehr als ein Drittel sich unterscheiden. Da auch andere Punkte der Versuchsausführung, welche für das praktische Leben von einschneidender Wichtigkeit werden können, noch der vermehrten Beachtung bedürfen, so soll in einem späteren Aufsatze auf diese Fragen eingehender zurückgekommen werden.

Für die Praxis dürfte wohl noch die Beantwortung der Frage von Nutzen sein, wie hoch man die zulässige Beanspruchung des Magnesiums für Constructionszwecke veranschlagen darf? Bei der immer noch geringen Kenntniß über das Allgemeinverhalten des Magnesiums wird man zunächst vorsichtig zu Werke gehen müssen und die zulässige Beanspruchung lieber etwas geringer annehmen, als nach dem Ausfall der gegenwärtigen Versuche zulässig sein würde. Ein Fortschritt in der Herstellung und weiteren Verarbeitung des Magnesiums wird ja sicher nicht ausbleiben, und man wird dann die jetzt gewonnenen Zahlen voraussichtlich etwas erhöhen dürfen. Mit Rücksicht auf das Voraufgehende dürfte es sich empfehlen, vorläufig

die zulässige Beanspruchung für Zug auf etwa 4 $\frac{kg}{qmm}$

diejenige auf Biegung auf etwa . . . . . 3 $\frac{kg}{qmm}$

und auf Druck auf etwa . . . . . 6 $\frac{kg}{qmm}$

anzunehmen.

D. Die sonstigen Eigenschaften und die Verarbeitung von Magnesium.

Es dürfte manchem Leser erwünscht sein, über die sonstigen Eigenschaften des Magnesiums noch einige Angaben zu erhalten. Deswegen sollen hier noch diejenigen Bemerkungen Platz finden, welche die Antragstellerin hierüber mitgetheilt hat.

Das Magnesium wird aus Staßfurter Carnallit nach dem Patent Grätzel auf elektrolytischem Wege gewonnen. Das umgeschmolzene Metall ist meistens sehr poröse und muß deswegen im erwärmten Zustande bei etwa 400° durch Aushämmern gedichtet werden. Bei der ferneren Bearbeitung ist Wärme immer erforderlich, obwohl das Magnesium auch im kalten Zustande etwas hämmerbar ist. Es gleicht in dieser Beziehung sehr dem Zink. In größeren Stücken kann es hohe Erhitzungen ertragen, ohne zu verbrennen; es schmilzt ohne Anwendung von Flußmitteln erst bei etwa 800° C. Der Verbrennungspunkt liegt nur um wenige Grade höher. Beim Gießen ergiebt sich immer ein ziemlich großer Verlust durch Oxydation; man erhält selten gute Güsse, weil Magnesium die Form weniger gut ausfüllt als beispielsweise Aluminium; der Guß ist fast immer blasig und löcherig. Das Magnesium läßt sich sehr gut schweißen*), nur darf man es nicht im directen Feuer erwärmen. Für das Schweißen und Ausglühen bei den Walzen muß es im Muffelofen erhitzt werden, um die Wärme bequem regeln und das Metall vor Oxydation schützen zu können. Aus gut vorgeschmiedeten Blöcken kann man dichte Walzstücke von beliebiger Querschnittsform bis zu ganz dünnen Blechen erzeugen. Zum Beweise dessen wurden für

*) In der Versuchsanstalt konnte die Schweißfähigkeit wegen eines mangelnden Muffelofens bisher leider noch nicht festgestellt werden.

Digitized by Google

die Sammlung der Versuchsanstalt zur Verfügung gestellt: Grubenschienen, Winkel-, Quadrat-, Rund- und Flachstangen, sowie Bleche von verschiedener Stärke bis $^1/_4$ mm Dicke, in Hörde aus Magnesium gewalzt. Jedesmaliges Wiederausglühen beim Walzen ist Bedingung, auch muß das Walzen allmählich geschehen. Beim Hämmern zum Zwecke der weiteren Bearbeitung ist es vortheilhaft, das Stück zuvor zu erwärmen, weil sich das Material dann nicht so leicht spaltet als beim kalten Hämmern. Beim Treiben ist ebenfalls Wärme nothwendig. Die Form, welche man zu erzielen beabsichtigt, muß allmählich erzeugt werden. Die Anwendung von Bleiunterlagen ist vortheilhaft. Beim Drücken auf der Drehbank und beim Pressen wendet man vortheilhaft Zwischenformen an und sucht so die Endform nach und nach zu erreichen. Auf der Drehbank muß man für beständige Erwärmung Sorge tragen und ebenso sind Stempel und Matrizen beim Pressen thunlichst zu erwärmen; das zu pressende Stück muß immer wieder ausgeglüht werden. Das Löthen des Magnesiums, sowie die galvanische Ueberziehung mit anderen Metallen bereitet zur Zeit noch große Schwierigkeiten. Mit Feile und Stichel läßt sich das Magnesium sehr leicht und gut bearbeiten. Am vortheilhaftesten wird das Magnesium im völlig reinen Zustande verarbeitet, weil durch die Reinheit die Haltbarkeit bedingt ist, da das reine Metall dem Oxydiren nur wenig unterworfen ist und leicht blank erhalten werden kann. Mit den Legierungen des Magnesiums hat man im Allgemeinen schlechte Erfahrungen gemacht, weil dieselben sehr wenig luftbeständig und meistens spröde sind. Das specifische Gewicht der untersuchten Probestücke berechnet sich aus den Abmessungen und dem Gewicht der Stücke durchschnittlich auf etwa 1,75.

Bedenkt man, daß die technischen Erfahrungen in der Verarbeitung des Magnesiums noch verhältnißmäßig jung sind und daß man namentlich in der Herstellung dichter Blöcke wohl noch erhebliche Fortschritte wird erzielen können, so ist mit Rücksicht auf die recht hohe Festigkeit und das leichte Gewicht wohl zu erwarten, daß die Verwendbarkeit des Metalles eine vielseitige werden kann. Es scheint, daß auch die Preisfrage im günstigen Sinne geregelt werden kann, so daß es wohl der Mühe werth sein dürfte, den Versuch zu machen, ob man nicht in Fällen, wo geringe Massen oder geringe Gewichte erwünscht sind, das Magnesium vortheilhaft verwenden kann. Im Maschinenbau dürfte es vielleicht bei schnellgehenden Maschinen zu benutzen sein. Die Luftschiffahrt würde es voraussichtlich mit Erfolg als Constructionsmaterial verwenden können; die Feinmechanik macht bereits ausgedehnten Gebrauch davon für Meßinstrumente, Waagen u. s. w. Die Verwendung in der Feuerwerkerei als Draht und Pulver für Beleuchtungszwecke, zur Erzeugung von Moment-Photographien u. s. w., ist bereits bekannt.

Verantwortlicher Redacteur: Dr. **Hermann Wedding.** — Verlag von **Julius Springer** in Berlin.

Druck von Eduard Krause in Berlin.

Digitized by Google

Die Festigkeits-Eigenschaften des Magnesiums

von

A. Martens.

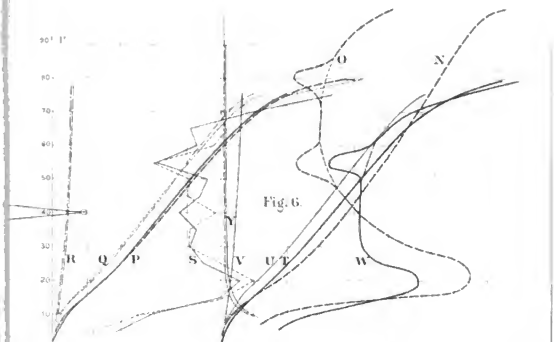


Fig. 6.

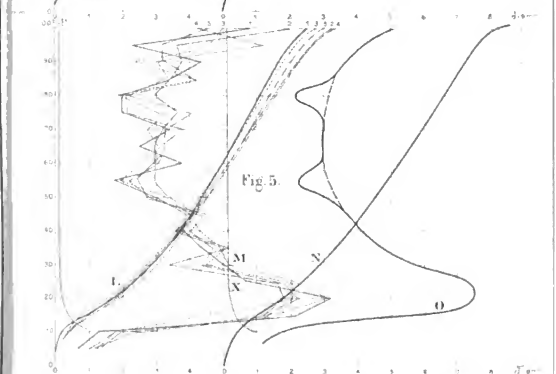


Fig. 5.

Steindr. v. Keller in Berlin.

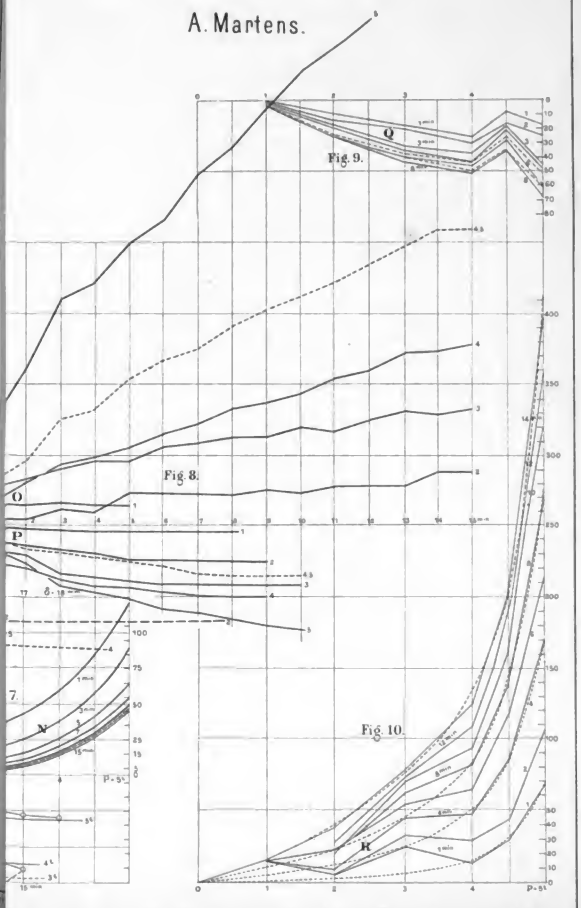
Digitized by Google

Digitized by Google

Die Festigkeits-Eigenschaften des Magnesiums

von

A. Martens.



Geogr. lith. Anst. u. Steindr. v. C. L. Keller in Berlin S.

Digitized by Google

Fig. 4.

Digitized by Google

Fig. 4.

Digitized by Google

Mittheilungen
aus den
Königlichen technischen Versuchsanstalten
zu Berlin.
Herausgegeben im Auftrage der Königlichen Aufsichts-Kommissionen.

Redacteur: Geheimer Bergrath Dr. **Wedding**,
Mitglied der Königl. Aufsichts-Kommissionen.

Ergänzungsheft II. **1887.**

Untersuchungen

über

Festigkeitseigenschaften und Leitungsfähigkeit

an deutschem und schwedischem Drahtmateriale.

Im Auftrage des Herrn Ministers für Handel und Gewerbe

von

A. Martens,
Vorsteher der Königlichen mechanisch-technischen Versuchsanstalt.

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1887.

Digitized by Google

Untersuchungen über Festigkeitseigenschaften und die Leitungsfähigkeit an deutschem und schwedischem Drahtmateriale.

Im Auftrage des Herrn Ministers für Handel und Gewerbe, vom Vorsteher der Königl. mechanisch-technischen Versuchsanstalt A. Martens.

Durch Erlaß vom 29. October 1885, J. Nr. 11798, ordnete der Herr Minister für Handel und Gewerbe die Ausführung von vergleichenden Versuchen mit schwedischen und inländischen Drahtmaterialien an.

Der Zweck der Untersuchungen war, „den auf die Vervollkommnung des basischen Bessemerprocesses, des Siemens-Martin-Verfahrens u. a. M. gegründeten Bestrebungen der inländischen Eisenindustrie, welche auf die Herstellung eines dem schwedischen Herdfrischeisen und Flußeisen an Trag-, Torsions- und Leitungsfähigkeit gleichstehenden Materiales zur Verarbeitung als Grubenseil und Telegraphendraht oder als Kratzendraht gerichtet sind, entgegen zu kommen und festzustellen, ob und in welchem Maße die Behauptung zutreffe, daß zur Zeit schwedisches Material noch nicht entbehrt werden könne."

Als gegenwärtig gestellte Anforderungen an die Eigenschaften der Drähte wurden folgende bezeichnet:

1. Für Bergwerksförderseile.

a) 2,5 mm Durchmesser aus schwedischem Herdfrischeisen, 50 bis 55 kg/qmm Zugfestigkeit.

b) 3,0 mm Durchmesser aus schwedischem Flußeisen von 0,1 % Kohlenstoffgehalt, 60—65 kg/qmm Zugfestigkeit.

2. Für Telegraphendraht.

c) 4,3 mm Durchmesser aus schwedischem Herdfrischeisen.

d) 4,1 mm Durchmesser aus schwedischem Flußeisen, verzinkt.

Die Telegraphendrähte sollen, bei bedeutender Bruch- und Torsionsfestigkeit, für ausländische Lieferungen einen elektrischen Leitungswiderstand von 11,31 oder 12,41 Ohm per Statute mile = 1610 m (oder 7,45 bez. 7,71 S. E. pro km) bei 60° F. = 16° C. haben.

Bei Einsendung der Proben wurde die für den im Außenhandel begehrten Telegraphendraht gestellte Bedingung einer Verwindungszahl von 25 bis 30 Umdrehungen auf 150 mm Länge als eine zu hohe Forderung bezeichnet.

Außer den vorgenannten Drähten wurden noch Kratzendrähte I. Sorte aus schwedischen Materialien zur Prüfung vorgelegt. Im Verlaufe der Untersuchungen gingen infolge einer Aufforderung des Herrn Ministers für Handel und Gewerbe noch die folgenden Drahtarten aus schwedischem Materiale ein. Draht von:

e) 2,5 mm Durchmesser aus schwedischem Holzkohleneisen, welcher zu Förder- und Bremsseilen verwendet wird.

f) 4,0 mm Durchmesser aus schwedischem Flußeisen, unverzinkt, und

g) 4,2 mm Durchmesser aus schwedischem Herdfrischeisen, unverzinkt, beide letztere für Telegraphendrähte bestimmt.

Digitized by Google

Diesem Materiale stehen die nachfolgenden inländischen Drahtsorten gegenüber.

1. Drei Sorten Telegraphendrähte von 4,1; 4,2 und 4,3 mm angeblicher Dicke, zu welchen das Schweißeisen aus den besten deutschen Roheisensorten erpuddelt ist.

2. Drei Sorten Telegraphendraht aus Flußeisen von angeblich den gleichen Durchmessern wie bei 1. Das Rohmaterial ist nach dem Thomasverfahren hergestellt.

3. Eine Sorte Telegraphendraht von angeblich 4,1 mm Durchmesser. Das Rohmaterial wurde aus $^2/_5$ Holzkohleneisen und $^3/_5$ Koksroheisen erzeugt.

4. Eine Sorte verzinkter Flußeisendraht von angeblich 4,2 mm Durchmesser.

5. Drei Sorten unverzinkter Flußeisendraht von angeblich 4,1; 4,2 und 4,3 mm Durchmesser.

6. Drei Sorten Telegraphendraht gezogen und geglüht von angeblich 4,1; 4,2 und 4,3 mm Durchmesser aus Flußeisen.

Die auf dem Hüttenwerke vorgenommenen Untersuchungen von Nr. 6 sollen folgende Ergebnisse geliefert haben:

Festigkeit des Drahtes . .	615; 620 und 615 kg,
Dehnung	20 bis 25 %,
Querschnittsverminderung .	65 bis 70 %.

Analyse: Kohlenstoff 0,08; Silicium 0,01 bis 0,015; Mangan 0,5 bis 0,6 und Phosphor 0,04 bis 0,07 %. Das Rohmaterial war Thomasroheisen.

7. Eine Sorte Telegraphendraht von angeblich 4,1 mm Durchmesser aus Schweißeisen, welcher 38 kg/qmm Bruchfestigkeit haben und 25 bis 30 Verwindungen auf 150 mm ertragen soll.

8. Drähte aus Flußeisen für unterseeische Telegraphenkabel und zwar: Zwei Sorten von etwa 3 mm Durchmesser, welche aus einer größeren Lieferung entnommen sind und für welche folgende Qualitätsvorschriften gelten: Zugfestigkeit 83 kg/qmm, Dehnung mindestens 1 % und einmaliges Hin- und Rückwickeln um den eigenen Durchmesser.

9. Eine Sorte Seildraht von 2,5 mm Dicke aus Schweißeisen, wozu ein ähnliches Material, wie zu den Drähten unter 17 verwendet worden war.

Weil es nach dem heutigen Stande der Fabrikation sich empfiehlt, sehr dünne Drähte aus Flußeisen herzustellen, war auch noch:

9a. Eine Sorte Seildraht aus Flußeisen von 2,5 mm mittlerem Durchmesser beigefügt.

10. Eine Sorte Seildraht aus Flußeisen von 0,1 bis 0,2 % Kohlenstoff und

11. eine Sorte Seildraht aus Flußeisen von 0,2 bis 0,3 % Kohlenstoff, welche angeblich 3 mm Durchmesser haben.

Das zuletzt genannte Material wird als das zweckmäßigste bezeichnet.

12. Eine Sorte Draht von angeblich 2,5 mm Durchmesser aus Holzkohleneisen

13. Eine Sorte Draht aus Patenttiegelgußstahl.

Zu Seilen untergeordneter Bedeutung, bei denen es auf sehr große Sicherheit nicht ankommt, werden verwendet:

14. Eine Sorte Draht von angeblich 3 mm Durchmesser aus Bessemerstahl.

15. Eine Sorte Draht von angeblich 3 mm Durchmesser aus Flußeisen.

16. Eine Sorte Seildraht von angeblich 3 mm Durchmesser aus Flußeisen.

17. Eine Sorte Seildraht gezogen und nicht geglüht von angeblich 2,5 mm Durchmesser aus Flußeisen.

Digitized by Google

18. Eine Sorte Seildraht gezogen und nicht geglüht von angeblich 3 mm Durchmesser aus Flußeisen. Die auf dem Werke hiermit vorgenommenen Untersuchungen sollen folgende Ergebnisse geliefert haben:

	17.	18.
Festigkeit des Drahtes	430 kg,	680 kg,
Dehnung	2 %,	2 %,
Querschnittsverminderung	45 %,	43 %.

Analyse: Kohlenstoff 0,08; Silicium 0,01 bis 0,015; Mangan 0,5 bis 0,6 und Phosphor 0,04 bis 0,07 %.

Das Rohmaterial war Thomasroheisen.

19. Gezogener Einfriedigungsdraht aus Flußeisen und zwar:

Drei Sorten von angeblich 3,75; 4,05 und 4,45 mm Durchmesser. Von diesen Materialien sollen in den Nummern 7, 8 und 9 der englischen Drahtlehre monatlich Tausende von Tonnen aus Deutschland ausgeführt werden. Das Rohmaterial wird von inländischen Hüttenwerken bezogen. Die Drähte werden vor dem Versand in saubere Bündel gehaspelt und mit einem Leinöl- oder Lacküberzuge versehen.

20. Einfriedigungsdraht aus Schweißeisen und zwar:

1 Sorte Walzdraht von angeblich 5 mm Dicke.

21. Stachelzaundraht, der massenhaft ausgeführt wird. (Dieser letzte Draht ist wegen seiner Form nicht geprüft worden.)

Die aufgeführten Proben sollten vorschriftsmäßig den folgenden Prüfungen unterworfen werden:

Bei den Seildrahtproben sollte die Untersuchung auf Zerreiß-, Verwindungs- und Biegungs-Versuche erstreckt werden.

Bei den Telegraphendrahtproben sollten außerdem die elektrischen Leitungswiderstände geprüft werden; auch sind nachträglich chemische Analysen ausgeführt worden.

Bei den Kratzendrähten sollten nur Zugfestigkeitsversuche und die chemischen Analysen ausgeführt worden.

Um indessen nach Abschluß der Versuche die Vergleichung über die Leistungsfähigkeit des in- und ausländischen Materials nach jeder Richtung vollständig und zuverlässig anstellen zu können, wurde aus den nachfolgenden Gründen das Prüfungsprogramm erweitert.

Die Eigenschaften des Materials werden im Wesentlichen durch zwei Hauptfactoren gebildet, von denen der eine durch die chemische Zusammensetzung des Metalles, der andere durch die Art und den Umfang der mechanischen Arbeit bedingt ist, welche das Erzeugniß während der zu seiner Herstellung nothwendigen Arbeitsvorgänge erfahren hat. In letzterer Beziehung hat namentlich der Umfang derjenigen Arbeitsvorgänge, welche nach dem letzten Ausglühen des Drahtes angewendet wurden, einen sehr wesentlichen Einfluß auf die zu untersuchenden Festigkeitseigenschaften, so zwar, daß beispielsweise zwei Drähte aus gleichem Material, welche bis zum letzten Ausglühen eine ganz gleiche Behandlung erfuhren, eine merkbare Verschiedenheit in ihren Festigkeitseigenschaften zeigen müssen, wenn nach dem letzten Ausglühen der eine stärker bearbeitet wurde, als der andere. Der stärker bearbeitete wird eine höhere Festigkeit und geringere Dehnung und Querschnittsverminderung aufweisen als der weniger bearbeitete; er wird ferner weniger Verwindungen auf 150 mm Länge und weniger Verbiegungen um 5 mm Radius vertragen als der weniger bearbeitete. Diese Erscheinungen werden allerdings in gewissem Grade verdeckt durch den Umstand,

Digitized by Google

daß auch der Wärmegrad, bei welchem die genannte Bearbeitung erfolgte, eine Rolle spielt. Geschieht die Bearbeitung in einer hohen Wärme, so kann wegen der in diesem Zustande geringeren Zähigkeit (innere Reibung der Gefügetheile) das „Fließen" des Materials mit großer Leichtigkeit vor sich gehen, während, wenn die Bearbeitung bei einer geringeren Wärme stattfindet, die Zähigkeit, also auch der Widerstand gegen die Bearbeitung wächst. Im ersteren Falle werden die Folgen auf die Festigkeitseigenschaften des Materials von geringerem Einfluß sein als im zweiten; beide Vorgänge, der zuerst geschilderte und der zuletzt besprochene, werden entgegengesetzte Wirkungen auf den Endzustand des Materials haben.

Nach heutigen Erfahrungen, welche durch wissenschaftliche Untersuchungen oftmals bestätigt worden sind, steht die Thatsache fest, daß das Material den größten Theil des durch die mechanische Bearbeitung nach dem letzten Ausglühen gewonnenen Zuwachses (positiv oder negativ genommen) bei einem vor der Prüfung vorgenommenen Ausglühen wiederum aufgiebt, also gewissermaßen in einen Zustand übergeht, den man den „Grundzustand" des Materials nennen kann. Der Rest der Veränderungen in Folge der Bearbeitung, welcher nicht wieder abgegeben wird, kann als die wirkliche Veränderung der Materialeigenschaften durch den ganzen Arbeitsvorgang als solchen aufgefaßt werden. Diese Veränderung wird keine große sein, weil bei den hier in Betracht kommenden Materialien nachgewiesen worden ist, daß eine bemerkenswerthe Dichtigkeitsänderung der Masse durch Walzen und Schmieden in der Hitze nicht eintritt; abgesehen natürlich von den ersten Stufen der Herstellung, wo das Heranspressen der Schlacken, Dichtwalzen der Poren u. s. w. erfolgt.

Aus Vorstehendem geht hervor, erstens, daß durch eine Prüfung der Festigkeitseigenschaften in dem Zustande, in welchem das Material in unsere Hände gelangt, nicht die Eigenschaften des Materials an sich festgestellt werden können, sondern nur diejenigen, welche es durch die nach dem letzten Glühen angewendeten Arbeitsvorgänge bekommt, und zweitens, daß man, um mit einiger Sicherheit die eigentlichen Festigkeitseigenschaften des Materials ermitteln zu können, das Material vor der Prüfung ausglühen muß.

Obwohl die technische Verwendbarkeit des Materials gerade durch diejenigen Eigenschaften bedingt ist, welche es durch die Bearbeitung nach dem letzten Ausglühen gewinnt, und da man aus diesem Grunde nothwendiger Weise die Festigkeitseigenschaften in diesem Zustande ermitteln muß, so darf doch nicht vergessen werden, daß die auf diese Art festgestellten Eigenschaften bei ein und demselben Material (ganz abgesehen von den im einzelnen Versuchs-Stück auftretenden inneren und äußeren Fehlern) großen Schwankungen unterworfen sein können, weil es schwer ist, Wärmegrad- und Bearbeitungsverhältnisse bei der Fabrikation gleichartig zu erhalten.

Behufs richtiger Ausführung der Untersuchungen mit geglühten Drähten war zunächst festzustellen, ob etwa durch eine mehrmalige Wiederholung des Glühprocesses eine weitergehende Veränderung der Festigkeitseigenschaften der Drähte erfolge. Zu diesem Zwecke sind Zerreißversuche mit zwei Drähten von möglichst verschiedenen Qualitäten angestellt worden und zwar mit

a) Telegraphendraht (Nr. 3 der vorausgehenden Zusammenstellung) 4,14 mm Durchmesser, 43,8 kg/qmm Bruch-Festigkeit, 8,25 % Dehnung und 65,8 % Querschnittsverminderung.

b) Patent-Tiegel-Gußstahl (Nr. 13) 2,96 mm Durchmesser, 124,8 kg/qmm Bruch-Festigkeit, 1,26 % Dehnung und 52,7 % Querschnittsverminderung.

Um zuverlässige Mittelwerthe zu erhalten, wurde von jedem Draht eine große Zahl von Probestücken entnommen, welche bündelweise mit Bindedraht so zusammen gebunden

Digitized by Google

waren, daß je 3 Stücke des Drahtes a gemeinsam mit je 3 Stücken des Drahtes b ein Bündel bildeten, wobei darauf geachtet wurde, daß zugleich die Stücke jeden Drahtes ursprünglich gleich weit von einander entfernt in der Drahtlänge gesessen haben. Auf diese Weise wurde erreicht, daß jede Probenreihe möglichst den mittleren Eigenschaften des Drahtes entsprach.

Die so erhaltenen Bündel sind abermals mit Bindedraht zu einzelnen Packeten vereinigt und unter Beilegen kleiner Schamottstücke unter die Packetenden so in einem schmiedeisernen Rohr verpackt worden, daß die Wände desselben möglichst wenig berührt wurden. Die beiden Rohrenden wurden mit einem Schamottstück verschlossen und die Fugen mit Lehm verschmiert.

Nachdem das Rohr noch ganz mit einer Lehmschicht überzogen war, wurde es im Glühofen der Anstalt durch 5 bis 6 Stunden einer lebhaften Hellrothglühhitze ausgesetzt, worauf die Thüren und Schieber des Ofens geschlossen und sämmtliche Fugen fest mit Lehm verstrichen wurden. Alsdann verblieb der Ofen bis zur völligen Abkühlung (gewöhnlich 24 Stunden) in Ruhe. Hierauf wurde aus dem Packet ein Bündel mit 2×3 Drähten herausgenommen und geprüft, während der Rest in gleicher Weise zum zweiten mal geglüht wurde und so fort.

Die Versuchsergebnisse sind in der Tabelle 1 auf folgender Seite übersichtlich zusammengestellt und zwar sind zur Erleichterung des Vergleiches für die einzelnen Versuchsreihen die Abweichungen der Mittelwerthe im geglühten Zustande von den Mittelwerthen im ungeglühten Zustande in Verhältnißzahlen ausgedrückt, wobei jedesmal der letztere Zustand als Einheit angenommen worden ist.

Aus den Verhältnißzahlen erkennt man, daß der Patent-Tiegel-Gußstahl vorwiegend durch die mechanische Behandlung beim Ziehen (Hartziehen) einen hohen Grad von Härte erlangt haben muß, denn seine Festigkeit nimmt um etwa 60 % durch Glühen ab, während Dehnung und Querschnittsverminderung um etwa 1000 % und 25 bis 30 % zunehmen.

Die Veränderungen des Telegraphendrahtes sind wesentlich geringer, dafür aber im Ganzen gleichmäßiger als bei dem vorgenannten Draht. Beim Telegraphendraht ist schon nach einmaligem Glühen ein Zustand erreicht, der selbst durch achtmaliges Glühen kaum verändert werden kann. Beim Gußstahldraht tritt dieser Zustand erst nach dem zweimaligen Glühen auf. Voraussichtlich wird dieser Draht wegen seiner chemischen Zusammensetzung den chemischen Einflüssen der Umgebung beim Glühen mehr ausgesetzt sein, als der Telegraphendraht, wenn auch dieser Einfluß wegen der angewendeten Vorsichtsmaßregel nicht von großer Bedeutung gewesen sein wird.

Obwohl aus den beiden vorgeführten Versuchsreihen sich zu ergeben scheint, daß mit ziemlicher Sicherheit ein Zustand im Material erzeugt werden kann, der durch weitere Beeinflussung im gleichen Sinne und im gleichen Grade sich nicht mehr verändern läßt, so kann dies doch zunächst nur mit der vorhin ausgesprochenen Beschränkung gelten.

Der Grad, um welchen die Eigenschaftsänderung in Folge des Glühens eintritt, kann nämlich noch abhängig sein von der absoluten Glühhitze, welche man im Einzelfalle zur Anwendung bringt, und in der That kann in dieser Beziehung ein sehr werthvolles Material hier angeschlossen werden, welches der Freundlichkeit des Herrn Fabrikbesitzers Krell in Petersburg zu verdanken ist. Derselbe hat die in Figur 1 (Seite 7) wiedergegebenen Schaubilder von seinen Versuchsergebnissen bereitwilligst zur Verfügung gestellt.

Herr Krell wollte durch seine Versuche feststellen, bei welchem Wärmegrade die von ihm verarbeiteten Drahtsorten auszuglühen wären, damit unter Verminderung der

(Fortsetzung auf Seite 8.)

Digitized by Google

Tabelle I.

Vergleichende Versuche mit mehrmals geglühten Drähten.

Laufende Nr.	Material	Ursprünglicher Durchmesser mm	Ursprünglicher Fläche qmm	Belastung an der Streckgrenze kg/qmm Probe 1	Probe 2	Probe 3	Mittel	Verhältniszahlen	Bruchbelastung kg/qmm Probe 1	Probe 2	Probe 3	Mittel	Verhältniszahlen	Dehnung % Probe 1	Probe 2	Probe 3	Mittel	Verhältniszahlen	Querschnittsverminderung % Probe 1	Probe 2	Probe 3	Mittel	Verhältniszahlen
	Draht Nr. 3. Telegraphendraht.																						
1	Ungeglüht	4,14	13,46	35,2	35,2	33,3	**34,6**	**100**	42,5	44,5	44,5	**43,8**	**100**	7,00	9,25	8,50	**8,25**	**100**	65,0	67,7	64,7	**65,8**	**100**
2	1 mal geglüht	4,12	13,33	22,5	22,5	22,5	**22,5**	**65,0**	35,6	35,6	35,6	**35,6**	**81,2**	18,20	21,00	23,50	**20,90**	**254**	73,5	73,1	69,2	**71,9**	**109,0**
3	2 mal „	4,13	13,40	20,5	20,5	20,5	**20,5**	**59,3**	35,4	35,4	35,4	**35,4**	**81,0**	21,00	17,00	21,00	**19,67**	**238**	75,2	71,4	75,3	**74,0**	**112,3**
4	3 mal „	4,12	13,33	20,7	20,7	20,7	**20,7**	**60,0**	35,6	35,6	35,6	**35,6**	**81,2**	24,00	22,50	22,50	**23,00**	**278**	74,0	66,5	73,0	**71,2**	**108,2**
5	4 mal „	4,12	13,33	18,7	18,7	18,7	**18,7**	**54,0**	35,6	35,6	35,6	**35,6**	**81,2**	24,00	21,50	22,00	**22,50**	**273**	72,8	70,3	70,7	**71,3**	**108,2**
6	5 mal „	4,12	13,33	18,7	18,7	18,7	**18,7**	**54,0**	35,6	35,6	35,6	**35,6**	**81,2**	21,50	21,75	21,00	**21,42**	**260**	72,2	73,5	73,3	**73,0**	**111,0**
7	8 mal „	4,12	13,33	18,7	18,7	18,7	**18,7**	**54,0**	35,6	35,6	35,6	**35,6**	**81,2**	17,00	17,00	17,75	**17,25**	**212**	72,2	73,8	71,7	**72,6**	**110,0**
	Draht Nr. 13. Patent-Tiegel-Gußstahl.																						
8	Ungeglüht	2,96	6,88	123,5	—	116,3	**119,9**	**100**	127,3	123,5	123,5	**124,8**	**100**	1,25	1,05	1,50	**1,26**	**100**	57,8	50,6	49,6	**52,7**	**100**
9	1 mal geglüht	2,95	6,83	36,5	36,5	32,9	**35,3**	**29,5**	58,5	58,5	58,5	**58,5**	**46,8**	16,00	17,25	17,25	**16,83**	**1340**	45,8	48,3	44,5	**46,2**	**87,8**
10	2 mal „	2,97	6,93	32,5	—	32,5	**32,5**	**27,1**	54,0	50,3	50,3	**51,5**	**41,3**	14,75	12,00	12,50	**13,08**	**1035**	59,0	63,0	54,6	**58,9**	**112,0**
11	3 mal „	2,96	6,88	25,4	25,4	25,4	**25,4**	**21,3**	50,8	50,8	50,8	**50,8**	**40,6**	8,25	10,75	7,00	**8,67**	**687**	63,1	68,3	69,4	**66,9**	**127,0**
12	4 mal „	2,96	6,88	29,1	29,1	29,1	**29,1**	**24,3**	50,8	50,8	50,8	**50,8**	**40,6**	11,75	12,00	9,00	**10,92**	**868**	68,3	64,0	68,0	**66,8**	**127,0**
13	5 mal „	2,96	6,88	29,1	29,1	29,1	**29,1**	**24,3**	50,8	50,8	50,8	**50,8**	**40,6**	12,25	12,50	14,25	**13,00**	**1030**	61,3	67,4	64,5	**64,4**	**122,5**
14	8 mal „	2,95	6,83	29,3	25,6	29,3	**28,1**	**23,5**	47,5	47,5	47,5	**47,5**	**38,0**	14,00	14,25	14,50	**14,25**	**1130**	67,0	68,0	74,1	**69,7**	**132,3**
15	10 mal „	2,95	6,83	29,3	25,6	25,6	**26,8**	**22,4**	47,5	47,5	47,5	**47,5**	**38,0**	13,75	12,50	13,75	**13,33**	**1058**	61,5	69,3	68,0	**66,3**	**126,0**
16	11 mal „	2,96	6,88	29,1	29,1	29,1	**29,1**	**24,3**	47,2	47,2	47,2	**47,2**	**37,8**	14,25	14,75	12,50	**13,83**	**1100**	70,8	66,1	68,3	**68,4**	**130,0**

Digitized by Google

Erklärung für Figur 1.

Untersuchungen von Krell über den Einfluß des Wärmegrades beim Glühen.

1. Westfälisches Schweißeisen. Höchste Qualität.
2. Westfälisches Schweißeisen. Geringe Qualität.
3. Westfälisches Schweißeisen. Geringe Qualität für Drahtstifte.
4. Westfälisches Schweißeisen. Rothbrüchig.
5. Weiches schwedisches Schweißeisen. Gute Qualität (Kolswa).
6. Schwedisches Schweißeisen. A. P. Eickmann. Höchste schwedische Qualität.
7. Demidoff-Schweißeisen. Höchste russische Qualität.
8. Flußeisen (weiches). Hohe Qualität.

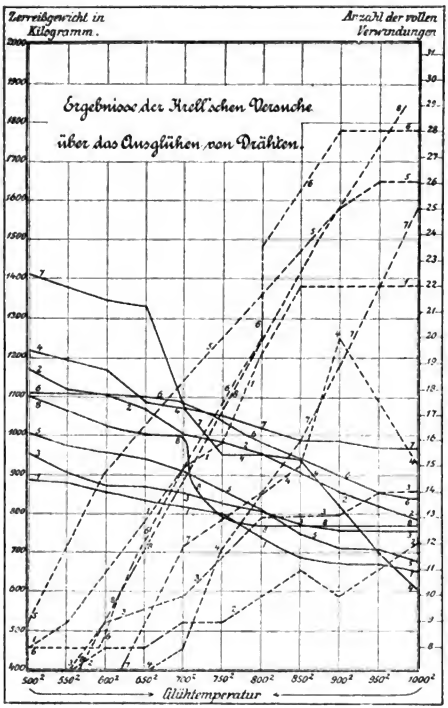


Fig. 1.

Digitized by Google

Festigkeit auf den vorschriftsmäßigen Betrag eine möglichst große Verwindungsfähigkeit erreicht würde.

Um für jedes Material den Glühungsgrad festzustellen, wurden die Versuche wie folgt angestellt: Man verwendete ein Bleibad von 100 bis 150 kg Fassungsvermögen, welches man sehr langsam auf immer wachsende Wärmegrade bringen konnte. Ueber dem Bleibad war eine Vorrichtung angebracht, mit welcher man die betreffenden Drahtringe beliebig schnell und beliebig lange in das Bleibad eintauchen konnte. Mit einem Siemens'schen Pyrometer wurde der Wärmegrad des Bades fortlaufend bestimmt, um sofort die Probestücke in das Bleibad eintauchen zu können, wenn die gewünschte Glühhitze erreicht war.

Eine Beeinflussung der chemischen Zusammensetzung des Drahtes durch die Berührung mit dem Blei u. s. w. dürfte ausgeschlossen sein, da eine Glühdauer von weniger als einer Minute hinreichen soll, um eine vollkommene Wirkung zu erzielen.

Auf diese Weise wurden Proben aus dem gleichen Draht bei möglichst vielen verschiedenen Wärmegraden geglüht und dann auf Zugfestigkeit und Verwindungsfähigkeit geprüft. Die Ergebnisse sind in der in Fig. 1 gegebenen Weise als Schaulinien dargestellt worden.

Ueber diese Zeichnungen ist zu bemerken, daß sie typischen Proben entsprechen und sich alle auf Drähte von 5 mm Durchmesser beziehen, daß sie also vollkommen vergleichsfähig sind. Die stark ausgezogene nach rechts abfallende Linie stellt die Bruchlast für den betreffenden Draht vor, nachdem derselbe bei den am Fuße der Darstellung angegebenen Hitzegraden geglüht wurde.

Die schwach ausgezogene nach rechts ansteigende Linie stellt unter gleichen Verhältnissen die Zahl der Verwindungen dar, welche der Draht bei einer bestimmten (leider nicht bekannten) freien Länge ertragen hat. Die Skala für die Bruchlast findet sich links, diejenige für die Verwindungszahl rechts von der Zeichnung.

Aus den Zeichnungen ergiebt sich, daß Festigkeit und Verwindungszahl von der angewendeten Glühhitze stark abhängen und daß die Veränderungen bei Schweißeisen im Großen und Ganzen durch Linien einer Krümmung charakterisirt sind, während beim Flußeisen ein kritischer Glühzustand zu bestehen scheint (etwa 700°), bei welchem die Festigkeit sprungweise abnimmt, um dann durch stärkere Erhitzung nicht mehr beeinflußt zu werden (Schaulinie Nr. 8).

Nachdem im Voraufgehenden auf einige wichtige Punkte aufmerksam gemacht worden ist, welche bei der Vergleichung der im Folgenden mitzutheilenden Versuchsergebnisse von Einfluß sind, sollen nunmehr die Art der Versuchsausführung und die Ergebnisse besprochen werden.

Die Zugfestigkeitsversuche sind Anfangs auf der Werder'schen Prüfungsmaschine und alsdann auf der später beschafften kleinen Zerreißmaschine der Anstalt ausgeführt worden. Dementsprechend ist es nicht möglich gewesen, die zuletzt ausgeführten Versuche in jeder Hinsicht gleichartig mit den ersten vorzunehmen. Trotz der nachstehend aufgeführten Verschiedenheiten bleiben aber die Versuche unter einander in den Hauptwerthen durchaus vergleichbar, weil der Einfluß der Probestablänge bei Drähten wenig zur Geltung kommen kann, wenn nicht sehr geringe Probenlängen gewählt werden. Nur die Bestimmung der Streckgrenze macht einige Schwierigkeiten, weil diese Bestimmung nicht ganz unabhängig ist von der Art der Prüfungsmaschine, von der Art der Beobachtung und von der Persönlichkeit des Beobachters. Letzteres wird klar, wenn man sich den Verlauf der Festigkeitsschaulinie vergegenwärtigt, wie er nebenstehend skizzirt ist. Werden die von der Maschine ausgeübten Zugkräfte als Ordinaten nach der y Axe, die zugehörigen Dehnungen nach der

Digitized by Google

x Axe aufgetragen, so ergiebt sich ein Curvenzug von der Gestalt OSS$_1$BB$_1$. Die Curve steigt anfangs geradlinig steil an, verläuft dann in einem schwachen Bogen nach S hin, nimmt von hier aus einen stark gekrümmten Verlauf nach S$_1$ und geht nun mit schwacher Krümmung und mit geringer Steigung gegen die x Axe zum Punkte B über, um von hier aus nach B$_1$ abzufallen. Dieser letztere Theil BB$_1$ wird in der Regel wegen der Constructionsformen der Maschinen nicht mehr beobachtet, so auch nicht bei den hier zu besprechenden Drahtuntersuchungen.

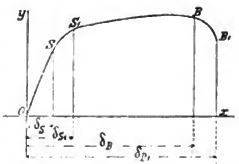


Fig. 2.

Innerhalb der Strecke SS$_1$ liegt derjenige Zustand des Materials, welchen man als „Streckgrenze" zu bezeichnen pflegt. Es ist dies derjenige Zustand, in welchem bei einer geringen Steigerung der Belastung eine merklich schnelle und andauernde Verlängerung — das „Strecken" oder „Fließen" — des Materials eintritt. Je nach der Feinheit der angewendeten Meß- und Beobachtungsmethoden wird man diesen Zustand früher oder später erkennen, und demgemäß wird man die Streckgrenze näher nach S oder nach S$_1$ hin annehmen, d. h. man wird in einem Falle die Belastung an der Streckgrenze und die zugehörige Dehnung kleiner finden als im andern, und zwar wird hiervon vorwiegend die Dehnung betroffen.

In der Regel wird in der Versuchs-Anstalt derjenige Zeitpunkt als Eintritt der Streckgrenze angesehen, in welchem der Hebel der Waage „abfällt", d. h. bei dem gewöhnlichen Vorgehen erst nach verhältnißmäßig langer Zeit wieder in die Gleichgewichtslage kommt. —

Um hierbei soweit wie möglich einen bestimmten Zustand zu erreichen, wird das Spannwerk der Maschine (die hydraulische Presse oder die Schraube) thunlichst gleichförmig und langsam bewegt.

Obwohl die Geschwindigkeit, mit welcher der Versuch ausgeführt wird, im Allgemeinen von merkbarem Einfluß auf das Ergebniß eines Festigkeitsversuches zu sein pflegt, so ist dieser Einfluß doch so klein, daß man ihn bei Stahl und Eisen in der Regel vernachlässigen darf.

Zur Bestimmung des Einflusses der Streckgeschwindigkeit auf die Ergebnisse des Festigkeitsversuches eignet sich recht gut die Pohlmeyer'sche Maschine. Der Verfasser hatte Gelegenheit, selbst in Dortmund eine Schaulinie von einem Rundstab aus Stahl zu entnehmen, bei dessen Prüfung die Geschwindigkeit des Streckens im Laufe des Versuches plötzlich stark vergrößert wurde. Die Kraftordinate wuchs sofort um etwa 0,4 mm an, hatte aber sonst durchaus einen gleichartigen Verlauf, so daß die Linie als parallel derjenigen angesehen werden darf, welche bei Fortsetzung des Versuches mit der ursprünglichen Geschwindigkeit entstanden sein würde. Aus der Ausmessung des Diagramms ergab sich:

Die Größe der Ordinate bei langsamem Vorgehen p = 30,5 mm, bei schnellem Vorgehen = 30,9 mm. Mithin war an der Stelle, wo die Geschwindigkeit plötzlich vergrößert wurde, die Kraftordinate um $\frac{30,9 - 30,5}{30,5} = 0,013$, oder um etwa 1,3% gewachsen.

Da 1 mm der Ordinate einer Belastung von 755,4 kg entspricht, so ist $\Delta p = 0,4 . 755$ = etwa 300 kg Kraftäußerung am Probestab, d. i. nahezu 1 kg/qmm.

Ein ganz ähnliches Verhalten konnte für Stahldraht gelegentlich eines Vorversuches

Digitized by Google

mit einem neuen Schaulinienzeichner nachgewiesen werden*). Hierbei trat die Erscheinung der Erhöhung der Kraftäußerung bei Vermehrung der Geschwindigkeit deswegen noch viel schärfer hervor, weil man während der Streckperiode mit der Geschwindigkeit mehrmals wechselte. Die Schaulinien bekamen in dem fraglichen Theile etwa das nebengezeichnete Aussehen, wobei mit m diejenigen Abschnitte bezeichnet sind, in welchen mit mittlerer Geschwindigkeit gearbeitet wurde, während h mit hoher und n mit niedriger Geschwindigkeit ausgeführt wurde. Man erkennt also, wie der Schreibstift genau dem Geschwindigkeitswechsel gefolgt ist. Die weitere Ausmessung der Schaulinie hat unterbleiben müssen, weil zur Zeit des Versuches die Constanten des Apparates noch nicht bestimmt waren und letzterer inzwischen verändert wurde.

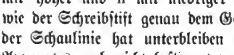


Fig. 3.

Die Bestimmung des Punktes B der Schaulinie, welcher der Höchstbelastung entspricht, die der Probestab zu tragen vermochte, bereitet bei den Maschinen, welche die Schaulinie nicht selbstthätig verzeichnen, einige Schwierigkeiten und ist mit Ungenauigkeiten behaftet.

Da man bei einfacher Gewichtsbelastung stets sprungweise die Belastung der Schale steigern muß, so ist selbstverständlich die Genauigkeit dieser Bestimmung von der Größe dieser Sprünge abhängig. In der Versuchs-Anstalt wird allgemein als Bruchbelastung diejenige Belastung der Waagschale angenommen, mit welcher die Waage zuletzt in die Gleichgewichtslage gekommen ist und aus dieser Belastung wird die Bruchspannung, bezogen auf den ursprünglichen Querschnitt, berechnet. Man findet also die beiden genannten Werthe um etwas zu klein.

Noch erheblichere Schwierigkeiten bereitet die Bestimmung der zu dem Punkte B gehörigen Dehnung δ_B, weil man kein Merkmal für denjenigen Zeitpunkt hat, in welchem die größte Tragfähigkeit genau erreicht ist; auch an den selbstthätig verzeichneten Schaulinien ist diese Bestimmung mit Schärfe nicht ausführbar.

Als Bruchdehnung wird in der Versuchs-Anstalt, übereinstimmend mit der allgemein üblichen Bestimmungsweise, die Verlängerung nach dem Bruch, also δ_{B_1} in der Regel, angenommen.

Die Verlängerungen sind zwischen zwei am Draht angebrachten Marken gemessen worden. Zuerst, indem man an den Markenstellen zwei Zeiger festklemmte, welche mit ihren Spitzen über Maaßstäbe glitten, an welchen die Marken-Verschiebungen abgelesen wurden. Später wurde ein besonderer Maaßstab mit Federn über den Draht geklemmt, auf welchem sich ein Schieber mit Zeigermarke verschieben konnte, der seinerseits mit einer ähnlichen Feder am Draht festgeklemmt war. Wenn die Marke auf den Nullpunkt der Skala einspielte, so hatten die Klemmpunkte der Federn am Draht eine Entfernung von 1000 oder 400 mm; die Skala war direct nach Procenten dieser Länge getheilt, so daß man Procente ablesen und Zehntel schätzen konnte.

Auf diese Weise sind alle Beobachtungen der 11. Versuchs-Reihe gemacht worden.

Die freie Länge betrug bei den Versuchen der ersten Reihe über 1 m; sie wurde aber später mit Rücksichtnahme auf die Verhältnisse der neuen Maschine und auf die auszuführenden Glühungen auf 500 mm zurückgeführt. Die Einspannung geschah in allen Fällen mittelst Keilbeilage, wobei zwei mit gezähnten Rinnen versehene Keile den Draht erfaßten, die ihrerseits in einem mit der Einspannvorrichtung der Maschine verbundenen

*) Ueber diesen Apparat zur Verzeichnung mikroskopisch kleiner Schaulinien auf Glas wird in einem späteren Hefte der Mittheilungen ausführlich berichtet werden.

Digitized by Google

Rahmen derart gelagert waren, daß sie bei der Zugbeanspruchung des Drahtes sich fester in das Lager hineinzogen und so den Draht immer fester packten, je mehr die Zugkraft wuchs. Die Zähne waren so angeordnet, daß sie am vorderen Ende weniger tief in den Draht eingriffen als am hinteren. Bei dieser Einspannungsart rissen die Drähte der Regel nach in ihrem freien Theile und selten in den Einspannungsvorrichtungen. Es ist dieser Umstand darin bedingt, daß das eingespannte Ende an der freien Dehnung und in Folge davon an der Querschnittsverminderung verhindert ist, so daß der Draht gezwungen wird, schließlich an dem in Folge der Querschnittsverminderung schwächeren freien Theil zu reißen.

Von bemerkbarem Einfluß auf die Ergebnisse eines Festigkeitsversuches ist die Art und Weise, wie die Gewichte aufgesetzt werden, und die Art, wie das Spannwerk gehandhabt wird. Bei beiden zur Verwendung gekommenen Maschinen werden die Gewichte sprungweise zugefügt, und zwar bei den Versuchen mit der Werdermaschine in der Regel von 100 g zu 100 g und bei der kleinen Zerreißmaschine von 5 zu 5 oder 2,5 zu 2,5 kg.

Die Werdermaschine arbeitet mit einer Hebelübersetzung, welche $^1/_{500}$ betragen soll. Dieses Verhältniß ist jedoch wegen der angewendeten Schneiden-Anordnung und aus einigen anderen Gründen kleinen Schwankungen unterworfen, und Abweichungen bis zu 1 % können vorkommen. In der Versuchs-Anstalt wird jedoch über diese Veränderung beständig Buch geführt und dieselbe bei der Feststellung der Ergebnisse nöthigenfalls berücksichtigt. Die kleine Zerreißmaschine arbeitet mit einem Hebelverhältniß von 1 : 10 (genauer 1 : 9,78), welches sich hier nur ganz unbedeutend verändern kann, da alle drei Schneiden des Hebels fest in denselben eingefügt sind. Eine eingehende Beschreibung dieser Maschine in den „Mittheilungen“ bleibt vorbehalten.

Die oben angegebenen Gewichtszuwachse entsprechen einem Belastungszuwachs von 50 kg im Draht. Das Einspielen des Hebels in seine Gleichgewichtslage wurde bei der Werdermaschine durch eine von dem Arbeiter, welcher das Aufsetzen der Gewichte besorgte, beobachtete Libelle ermittelt. Da bei der kleinen Zerreißmaschine eine ähnliche Einrichtung nicht vorhanden war, so wurde mit derselben ein einfaches elektrisches Läutewerk derart verbunden, daß der Waagebalken den Contact schloß, sobald der Hebel in seine Gleichgewichtslage kam. (Vergl. Fig. 4.)

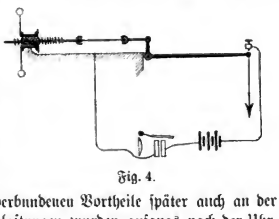


Fig. 4.

Um die Thätigkeit des Läutewerkes zu unterbrechen, bedurfte es alsdann einer Bewegung des Hebels an der Contactstelle von weniger als 0,1 mm, und man hatte auf diese Weise eine sehr empfindliche Controlvorrichtung für das richtige Einspielen der Waage, die noch dazu dem Beobachter nach jedem Standort hin das Zeichen gab. Eine ähnliche Einrichtung ist wegen der großen damit verbundenen Vortheile später auch an der Werdermaschine angebracht worden. Die Zusatzbelastungen wurden anfangs nach der Uhr, später, nachdem der Beobachter gehörig eingearbeitet war, nach der Schätzung in regelmäßigen Zeitabschnitten zugefügt. Das Spannwerk, im einen Falle die hydraulische Presse, im anderen die Schraube, wurde langsam und mit möglichst gleichförmiger Geschwindigkeit in Thätigkeit gesetzt.

Ueber die Ausführung der Dehnungsmessung ist bereits gesprochen. Hier ist nur noch hinzuzufügen, daß für jeden Belastungszuwachs in dem Augenblick, in welchem die Waage einspielte, die zugehörige Verlängerung festgestellt wurde, so weit dies während des „Fließens“ des Materials überhaupt möglich ist.

Digitized by Google

Die Messung der ursprünglichen Durchmesser geschah mit einer Mikrometerschraubenlehre, welche 0,01 mm schätzen läßt, während die Messung der Durchmesser an der Einschnürungsstelle mit Hülfe eines Mikroskopes ausgeführt wurde. Man zog diese letztere Messung deshalb vor, weil hierbei der Beobachter die ganze Einschnürungsstelle des Drahtes in etwa 5 bis 10facher Vergrößerung vor sich hat und alsdann im Stande ist, den geringsten Durchmesser besser zu erkennen, als es ohne dies möglich wäre. Für diese Messung hat sich das Zeiß'sche Objectiv a* in Verbindung mit einem in 0,1 mm getheilten Ocular-Glasmikrometer als sehr brauchbar erwiesen. Das Objectiv a* gestattet nämlich durch Aenderung des gegenseitigen Abstandes der beiden Objectivlinsensysteme eine Veränderung der Vergrößerung auf ein rundes Maaß, etwa $\frac{10}{1}$.

Die Verwindungsversuche sind auf der kleinen Torsionsmaschine der Anstalt durchgeführt worden, über deren Construction ebenfalls später in den „Mittheilungen" berichtet werden wird.

Der zu untersuchende Draht wird wie bei den Zerreißversuchen durch Keilbeilagen befestigt und zwar das eine Ende an der Antriebsvorrichtung, das andere Ende an der Waage. Durch die Antriebsvorrichtung wird der Draht um seine Axe verwunden; die Zahl der ganzen Verwindungen wird gezählt und der Betrag der Theilverwindungen an einer Kreistheilung abgelesen. Die Waage ist auf einem auf Rollen laufenden Wagen angebracht, sie dient zur Bestimmung des Torsionsmomentes. Der in der Längsrichtung des Drahtes bewegliche Wagen hat den Zweck, die etwaigen Verlängerungen des Drahtes auszugleichen, ohne eine Beanspruchung des Drahtes in seiner Längsrichtung zu verursachen. Die auftretenden Längenänderungen sind jedesmal gleichzeitig mit den Torsionsmomenten gemessen und niedergeschrieben.

Um einen Ueberblick über die Vorgänge beim Versuch zu geben, sind in Fig. 5 auf folgender Seite einige charakteristische Schaulinien wiedergegeben.

Eine sehr rohe Untersuchungsmethode bildet die Biegungsprobe zwischen den nach dem Radius von 5 mm abgerundeten Backen eines Schraubstockes. Die Versuche sind in der vorgeschriebenen Form ausgeführt worden, indem man das untere Ende des Drahtes einspannte und nun das obere Ende mit der Hand langsam um 90° bis in die Horizontale und wieder zurückbog. Eine solche Biegung ist als volle Biegung gezählt worden. Die zweite Biegung wurde nach der entgegengesetzten Seite in gleichem Sinne ausgeführt und so abwechselnd weiter bis zum Bruch.

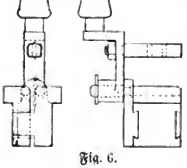


Fig. 6.

In der Praxis sind für diese Art von Prüfungen besondere kleine Apparate in Anwendung, von denen nach Beendigung der hier besprochenen Versuche ein Musterstück von Herrn Hegel in Saarbrücken der Versuchs-Anstalt geschenkt wurde. Dieser einfache Apparat ist in Fig. 6 abgebildet worden.

Er besteht aus den beiden in den Schraubstock einzuspannenden Backen mit vorschriftsmäßig abgerundeten Kanten und aus einem mit Handgriff versehenen Hebel. Der Drehpunkt des letzteren liegt in der Verlängerung der maßgebenden Kanten des Apparates und trägt einen vorspringenden Arm, der mit mehreren verschieden großen Löchern versehen ist. Durch das am besten passende Loch wird der zu prüfende Draht in die Klemmbacken eingeschoben. Der so be-

Digitized by Google

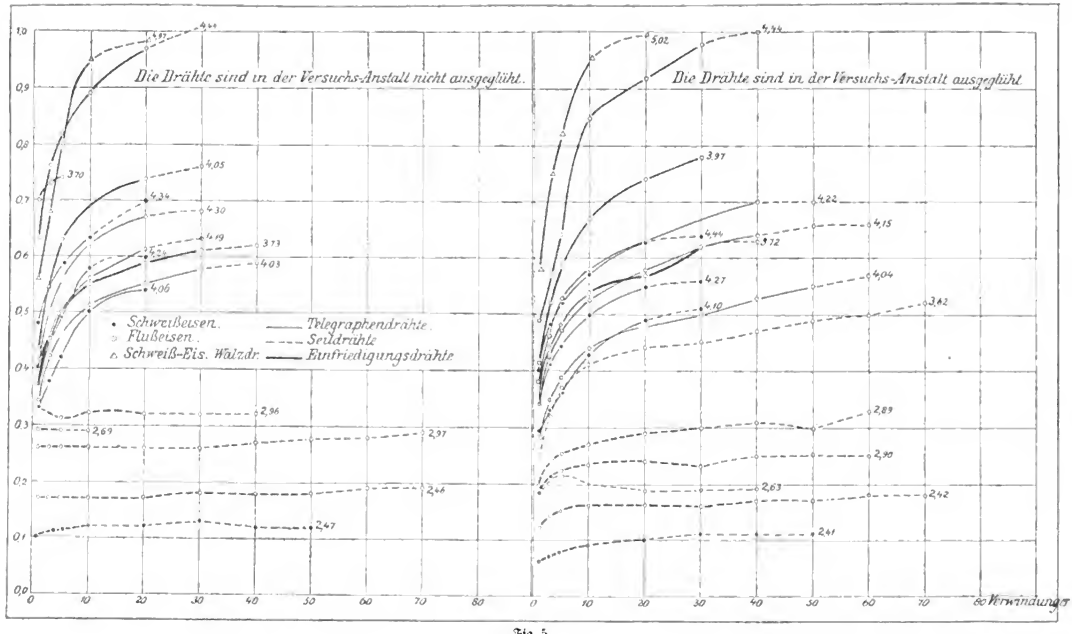

Die Drähte sind in der Versuchs-Anstalt nicht ausgeglüht.
Die Drähte sind in der Versuchs-Anstalt ausgeglüht.
Schweißeisen.
Flußeisen.
Schweiß-Eis. Walzdr.
Telegraphendrähte.
Seildrähte
Einfriedigungsdrähte
Verwindungen

Fig. 5.

festigte Draht wird nun durch Umlegen des Hebels in der vorgeschriebenen Weise bis zum Bruch hin und her gebogen. Hierbei ist er frei von jeder seitlichen Verzerrung. Ferner liegt der Angriffspunkt der Kraft stets gleich weit ab von der Drehachse, so daß ein Draht wie der andere behandelt werden muß.

In den Werken von Felten & Guilleaume in Mülheim a. Rh. ist ein ähnlicher Apparat in Gebrauch, welcher insofern noch weiter vervollkommnet worden ist, als an Stelle der abgerundeten Kanten zwei sauber gedrehte Stahlrollen von vorgeschriebenem Durchmesser eingelegt waren, etwa wie es in Fig. 6 angedeutet ist. Hierdurch kann der wahre Radius der Krümmung, welche der Draht beim Biegen erfährt, mit größerer Leichtigkeit gemessen werden. Daß es auf diesen Krümmungsradius wesentlich ankommt und daß man auch bei Anwendung eines der vorbeschriebenen Apparate noch erhebliche Fehler machen kann, wurde durch folgende Versuche bewiesen. Verschiedene Drähte wurden möglichst sorgfältig gerade eingespannt und durchaus in der gewöhnlichen Weise behandelt; eine Anzahl ganz gleicher Drähte wurde dagegen bei Anwendung desselben Apparates möglichst schief eingeklemmt. Sie hielten erheblich mehr Biegungen aus als die zuerst geprüften, weil der in der That zur Wirkung kommende Krümmungsradius erheblich größer war als der zuerst angewendete. Man hat also auf ein sorgfältiges Einspannen zu achten. Es dürfte übrigens nicht schwer sein, den Apparat so einzurichten, daß ein schiefes Einspannen ausgeschlossen wird.

Die Versuche über die Leitungsfähigkeit sind von Herrn Dr. Paalzow, kgl. Professor an der technischen Hochschule, nach der von ihm abgeänderten Brückenmethode ausgeführt worden. Ueber die Ausführung dieser Versuche wird besonders berichtet werden.

Die Erfahrungen, welche bei Durchführung der Versuche nach dem ursprünglichen Programm gewonnen wurden, veranlaßten, wie schon früher erwähnt, eine Erweiterung desselben, durch Vermehrung der Einzelversuche und durch Hinzufügung der Versuche mit geglühten Drähten.

Die Ergebnisse der Versuche nach dem ursprünglichen Plane sind mit Reihe I bezeichnet, während die nach dem erweiterten Programm wesentlich später und mit anderen Hülfskräften gewonnenen Ergebnisse als Reihe II bezeichnet worden sind.

Aus den sämmtlichen Atteſten und für den ganzen Umfang der Untersuchungen sind die Hauptergebnisse in den Tabellen 2—4 (S. 15—23) übersichtlich zusammengetragen. Dabei sind stets in ähnlicher Weise, wie in Tabelle 1, für alle diejenigen Werthe, welche einem Vergleich unterworfen werden sollen, die Verhältnißzahlen hinzugefügt, so daß man auch ohne zeichnerische Darstellungen, die in Fällen, wie dem vorliegenden, gewöhnlich doch nicht übersichtlich auszufallen pflegen, die Wachsthumsverhältnisse der einzelnen Eigenschaften bei den verschiedenen Fabrikaten verfolgen kann. Um jedoch gegen den Schluß hin das Resultat immer mehr übersichtlich zu gestalten, sind aus Tabelle 2 die Ergebnisse nach Tabelle 3 in der Form übertragen worden, daß eine geordnete Gegenüberstellung der an dem geglühten und ungeglühten Material erhaltenen Zahlen erscheint. Die hierbei ermittelten Verhältnißzahlen sind alsdann benutzt worden, um in Tabelle 4 eine Schlußzusammenstellung zu gewinnen, aus welcher sich ein Vergleich der Eigenschaften der verschiedenen Drahtsorten ergiebt.

Es ist jedoch nothwendig, hier noch eine eingehendere Erörterung über den inneren Werth und die Vergleichbarkeit der gewonnenen Zahlen hinzuzufügen, theils um einer Ueberschätzung dieser Zahlen, theils um einer ungünstigen Beurtheilung unserer vaterländischen Industrie vorzubeugen.

(Fortsetzung auf Seite 24.)

Digitized by Google

Tabelle 2.

I. Seildrähte (ungeglüht), Deutsches Material.

Laufende Nr.	Material	Mittlerer Durchmesser in mm	Ergebnisse der Zugversuche: Dehnungen in % an der Streckgrenze	Dehnungen in % bei dem Bruch	Spannung in kg/qmm an der Streckgrenze	Spannung in kg/qmm bei dem Bruch	Querschnittsverminderung in %	Ergebnisse der Verwindungsversuche: Torsionsspannungen in kg/qmm nach einer Umdrehung	Torsionsspannungen in kg/qmm bei dem Bruch	Anzahl der Verwindungen	Verteilung der Verwindung über die ganze Länge	Ergebnisse der Biegungsversuche: Zahl der Biegungen bis zum Bruch größte	kleinste	mittel
1	Schweißeisen Draht Nr. 9	2,47	a 0,35 (0,33 – –) d 1,32 (– – –)		a 53 (47,0 59,1) d 54,7		42,0	38,4	42,9	33,1	—	10	6,5	8,2
2	Flußeisen Draht Nr. 9a	2,47	0,58 (0,51 0,65 – –)	0,75 (– – –)	74,8 (73,0 76,9)		77,0	57,7	61,7	61,1	59,8	—	13,5	10,0	11,7
3	Flußeisen Draht Nr. 10	2,95	1,14 (0,41 1,88 – –)	3,09 (– – –)	60,1 (55,8 64,7)		64,3	64,4	52,5	53,4	40,8	Diese Drähte zeigen mehrfach ungedrehte, glatte Stellen	10	7	8,5
4	Flußeisen Draht Nr. 11	2,94	0,63 (0,47 0,80 – –)	0,88 (– – –)	77,5 (70,6 84,4 – –)		82,1	52,0	65,6	63,1	41,8	Desgl.	9,5	8	8,7
5	Holzkohleneisen Draht Nr. 12	2,47	0,44 (0,38 0,50 – –)	1,39 (– – –)	50,7 (47,8 53,7 – –)		55,3	53,0	42,3	41,3	28,0	Scharfe Verwindungen	11,5	8	9,7
6	Bessemerstahl Draht Nr. 14	3,00	0,43 (0,27 0,59 – –)	3,07 (– – –)	52,3 (40 64,6 – –)		67,0	50,2	54,2	53,9	43,3	Die Verwindung ging sprungweise vor sich	8	6,5	7,2
7	Flußeisen Draht Nr. 15	3,05	0,45 (0,34 0,57 – –)	1,16 (– – –)	69,8 (61,7 78 – –)		84,7	43,5	61,9	60,0	17,6	Desgl.	8	5	6,5
8	Patentliegelgußstahl Draht Nr. 13	2,94	1,19 (– 1,19 – –)	1,50 (– – –)	120 (– 120 – –)		126,3	53,2	88,4	93,9	27,4	—	11	8	9,5
9	Aus Flußeisen Draht Nr. 16	2,92	0,58 (0,61 0,55 – –)	0,80 (– – –)	74,9 (74,3 75,6 – –)		76,5	52,7	56,3	55,9	47,2	Die Verwindung ging sprungweise vor sich	11	7	9,0
10	Gezogen und nicht geglüht, Flußeisen Draht Nr. 17	2,49	0,49 (0,49 – – –)	1,05 (– – –)	74,2 (– – – –)		76,7	49,9	60,6	60,8	6,5	Die Verwindung ging sprungweise bei einzelnen Drähten vor sich	10	8	9,0
11	Gezogen und nicht geglüht, Flußeisen Draht Nr. 18	2,98	0,57 (0,38 0,77 0,78 2,00)	1,39	67,8 (64,0 71,7)		71,5	47,2	54,3	53,3	15,2	Desgl.	9	7	8,0
12	Flußeisen für unterseeische Telegraphenkabel, verzinkt Draht Nr. 8	2,70	0,56 (0,47 0,65 3,20 5,33)	4,26	95,5 (88,0 103,0)		102,8	40,4	77,3	77,7	13,1	—	7	5	6,0
13	Desgl. Draht Nr. 8	3,70	0,98 (0,52 1,45 – –)	5,65	86,0 (80,0 92,1)		96,9	39,2	74,2	77,4	7,4	—	4	3	3,5

Digitized by Google

Tabelle 2.

I. Seildrähte (geglüht), Deutsches Material.

Laufende Nr.	Material	Mittlerer Durchmesser in mm	Ergebnisse der Zugversuche: Dehnungen in % an der Streckgrenze	Dehnungen in % bei dem Bruch	Spannung in kg/qmm an der Streckgrenze	Spannung in kg/qmm bei dem Bruch	Querschnittsverminderung in %	Ergebnisse der Verwindungsversuche: Torsionsspannungen in kg/qmm nach einer Umdrehung	Torsionsspannungen in kg/qmm bei dem Bruch	Anzahl der Verwindungen	Vertheilung der Verwindung über die ganze Länge	Ergebnisse der Biegungsversuche bis zum Bruch: Zahl der Biegungen größte	kleinste	mittel
14	Schweißeisen Draht Nr. 9	2,47	1,04	7,86	23,8	33,3	57,2	20,8	40,3	38,2	—	8	7	7,5
15	Flußeisen Draht Nr. 9a	2,46	0,75	3,46	42,2	51,9	71,4	41,1	61,2	57,3	Drehung entweder vom Reil ausgehend oder aus der Mitte heraus nach beiden Seiten	13	9	11,0
16	Desgl. Draht Nr. 10	2,94	1,10	2,84	48,1	50,7	67,4	37,4	52,7	53,4	—	12	7	9,5
17	Desgl. Draht Nr. 11	2,93	0,84	4,45	40,8	53,9	68,0	39,3	64,8	42,7	Drehung entweder vom Reil ausgehend oder aus der Mitte heraus nach beiden Seiten	12	8	10,0
18	Holzkohleneisen Draht Nr. 12	2,46	1,84	14,80	25,1	35,3	64,9	17,0	31,9	52,0	—	11	6	8,5
19	Bessemerstahl Draht Nr. 14	2,98	0,72	4,69	38,0	44,3	64,3	29,2	45,5	45,5	—	13	7	10,0
20	Flußeisen Draht Nr. 15	3,04	1,20	3,18	46,5	53,8	61,1	33,1	49,9	20,5	—	10	5	7,5
21	Patenttiegelgußstahl Draht Nr. 13	2,97	3,03	14,25	35,9	47,2	67,8	19,2	45,0	57,4	—	17,5	14	15,7
22	Flußeisen Draht Nr. 16	2,91	1,35	8,45	35,3	46,1	69,1	20,6	46,9	52,9	—	14	8,5	11,2
23	Gezogen und nicht geglüht Flußeisen Draht Nr. 17	2,50	0,25	20,35	25,6	40,6	75,1	18,0	40,6	72,6	—	15	13	14,0
24	Desgl. Flußeisen Draht Nr. 18	2,98	1,43	22,10	24,6	36,7	75,2	16,4	38,3	59,7	—	15	13	14,0
25	Telegraphenkabel-Flußeisen Draht Nr. 8	2,71	0,82	0,91	56,1	56,9	65,6	52,8	64,8	22,8	—	14	6	10,0
26	Desgl. Draht Nr. 8	3,67	1,21	17,92	33,5	46,3	70,5	26,3	53,3	62,0	—	9,5	8,5	9,0

Digitized by Google

Tabelle 2$_3$.
Telegraphendrähte (ungeglüht). Deutsches Material.

Laufende Nr.	Material	Mittlerer Durchmesser in mm	Ergebnisse der Zugversuche: Dehnungen in % an der Streckgrenze	Dehnungen in % bei dem Bruch	Spannung in kg/qmm an der Streckgrenze	Spannung in kg/qmm bei dem Bruch	Querschnittsverminderung in %	Ergebnisse der Verwindungsversuche: Torsionsspannungen in kg/qmm nach einer Umdrehung	Torsionsspannungen in kg/qmm bei dem Bruch	Anzahl der Verwindungen	Vertheilung der Verwindung über die ganze Länge	Ergebnisse der Biegungsversuche: Zahl der Biegungen bis zum Bruch größte	kleinste	mittel
			a d	a d	a d									
27	Schweißeisen, verzinkt Draht Nr. 1	4,04	0,29 0,24 0,35	8,75 — —	31,0 30,2 31,8	40,7	50,4	29,7	46,2	21,3	—	5	3	4,0
28	Schweißeisen, verzinkt Draht Nr. 1	4,19	0,49 0,19 0,79	9,59 8,50 10,69	31,1 28,1 34,1	41,0	45,5	31,8	51,5	21,8	—	4,5	3	3,7
29	Desgl. Draht Nr. 1	4,32	0,41 0,22 0,60	9,57 9,19 9,95	29,7 26,9 32,6	41,2	51,0	34,6	46,5	21,2	—	4	1,5	2,7
30	Flußeisen, verzinkt, Thomaseisen Draht Nr. 2	4,01	0,56 0,21 0,91	12,68 11,76 13,50	28,4 25,1 31,7	42,2	65,7	33,3	51,1	40,4	—	9	5	7,0
31	Desgl. Thomaseisen Draht Nr. 2	4,16	0,42 0,27 0,58	13,71 — —	30,5 28,3 32,8	44,5	67,4	32,4	50,7	33,6	—	7,5	5	6,2
32	Desgl. Thomaseisen Draht Nr. 2	4,26	0,56 0,27 0,85	13,62 — —	32,1 30,5 33,7	46,1	63,8	32,7	50,8	31,6	—	8	5	6,5
33	Aus $\frac{1}{2}$ Holzkohleneisen $\frac{1}{2}$ Koseisen Schweißeisen Draht Nr. 3	4,09	0,36 0,15 0,57	13,80 — —	23,0 22,6 23,5	35,8	51,1	13,7	39,0	30,9	—	7	3,5	5,2
34	Flußeisen, verzinkt Draht Nr. 4	4,23	0,40 0,16 0,65	11,90 — —	28,5 28,7 28,4	41,9	72,4	26,2	41,5	33,4	—	8	5,5	6,7
35	Desgl. unverzinkt Draht Nr. 5	4,13	0,34 0,18 0,50	10,65 — —	29,4 26,3 32,6	45,1	66,6	28,7	46,4	45,2	—	9	6,5	7,7
36	Desgl. Draht Nr. 5	4,21	0,29 0,13 0,46	12,30 — —	26,1 24,6 27,7	40,8	69,0	23,6	43,3	45,5	—	10,5	7	8,7
37	Gezogen und geglüht Draht Nr. 6	4,22	0,34 0,34 0,34	14,47 — —	22,3 21,9 22,7	38,3	73,3	20,2	41,7	42,6	—	13,5	8	10,7
38	Desgl. Flußeisen Draht Nr. 6	4,16	0,36 0,34 0,37	16,40 — —	22,7 22,7 22,8	36,3	73,9	19,5	40,0	43,9	—	11	8	9,5
39	Desgl. Flußeisen Draht Nr. 6	4,01	0,34 0,33 0,35	17,20 — —	25,5 26,9 24,2	36,6	71,5	18,8	40,8	51,0	—	11,5	9	10,2
40	Schweißeisen Draht Nr. 7	4,07	0,22 0,13 0,31	16,47 — —	22,3 20,0 24,6	38,3	58,7	19,7	40,6	32,7	—	9	5	7,0
41	Flußeisen Draht Nr. 5	4,31	0,22 0,17 0,27	13,50 9,01 17,95	22,9 23,5 22,3	39,2	72,8	22,9	43,4	43,9	—	10,5	7	8,7

Digitized by Google

Tabelle 2.
Telegraphendrähte (geglüht). Deutsches Material.

Laufende Nr.	Material	Mittlerer Durchmesser in mm	Ergebnisse der Zugversuche: Dehnungen in % an der Streckgrenze	Dehnungen in % bei dem Bruch	Spannung in kg/qmm an der Streckgrenze	Spannung in kg/qmm bei dem Bruch	Querschnittsverminderung in %	Ergebnisse der Verwindungsversuche: Torsionsspannungen in kg/qmm nach einer Umdrehung	Torsionsspannungen in kg/qmm bei dem Bruch	Anzahl der Verwindungen	Vertheilung der Verwindung über die ganze Länge	Ergebnisse der Biegungsversuche: Zahl der Biegungen bis zum Bruch größte	kleinste	mittel
42	Schweißeisen Draht Nr. 1	4,11	0,51	13,27	26,3	35,8	56,5	20,8	36,1	25,7	—	6	3,5	4,7
43	Desgl. Draht Nr. 1	4,27	0,42	15,12	27,2	37,7	54,4	22,6	35,8	27,5	—	7	3,5	5,2
44	Desgl. Draht Nr. 1	4,40	0,53	12,00	28,5	38,8	57,6	23,3	33,5	28,5	—	6	3 5	4,7
45	Flußeisen, Thomaseisen Draht Nr. 2.	4,05	0,44	15,73	25,6	39,2	75,4	20,7	43,1	57,1	—	11	8 5	9,7
46	Desgl. Draht Nr. 2	4,16	0,38	15,06	27,9	42,0	70,9	23,7	42,4	49,6	—	9	7	8,0
47	Desgl. Draht Nr. 2	4,27	0 45	16,25	27,8	42,2	71,0	25,7	40,2	44,8	—	9	8	8,5
48	Schweißeisen Draht Nr. 3	4,09	0,45	19,21	21,9	35,1	45,7	16,7	35,3	29,9	—	6	4	5,0
49	Flußeisen Draht Nr. 4	4,25	0,61	13,07	25,8	38,0	73,3	21,1	40,8	49,1	—	9	7,5	8,2
50	Desgl. Draht Nr. 5	4,13	0,61	17,03	25,9	39,0	68,6	18,7	40.1	48,4	—	12	8	10,0
51	Desgl. Draht Nr. 5	4,21	0,76	19,10	23,2	36,4	70,8	17,8	39,0	50,6	—	12	9,5	10,7
52	Gezogen und geglüht, Flußeisen Draht Nr. 6	4,20	3 00	19,40	26,1	35,7	75,2	17,1	39,8	48,6	—	10,5	8	9,2
53	Desgl. Draht Nr. 6	4,15	2,00	20,60	22,9	34,2	75,7	16,1	40,2	45,5	—	12	8,5	10,2
54	Desgl. Draht Nr. 6	3,98	2,00	15,40	27,6	39,1	72,7	19,4	44,7	38,4	—	11	7	9,0
55	Schweißeisen Draht Nr. 7	4,06	2 00	15,85	28,7	38,0	55,9	20,1	40 2	29,4	—	6	5	5,5
56	Flußeisen Draht Nr. 5	4,32	0,45	22,42	20,9	35,7	74,8	17,15	38,7	40,4	—	10,5	9	9,7

Digitized by Google

Tabelle 2.

Schwedisches Material.

Laufende Nr.	Material	Mittlerer Durchmesser in mm	Ergebnisse der Zugversuche: Dehnungen in % an der Streckgrenze	Dehnungen in % bei dem Bruch	Spannung in kg/qmm an der Streckgrenze	Spannung in kg/qmm bei dem Bruch	Querschnittsverminderung in %	Ergebnisse der Verwindungsversuche: Torsionsspannungen in kg/qmm nach einer Umdrehung	Torsionsspannungen in kg/qmm bei dem Bruch	Anzahl der Verwindungen	Vertheilung der Verwindung über die ganze Länge	Ergebnisse der Biegungsversuche: Zahl der Biegungen bis zum Bruch größte	kleinste	mittel
	Seil-Drähte.													
57	Schwedisches Holzkohleneisen (Schweißeisen), ungeglüht Drahtst Nr. e	2,46	a 0,35 d 0,28 0,43	0,82	a 50,7 d 45,1 56,3	58,8	35,2	39,4	44,9	24,5	Gleichmäßig	8,5	5,5	7,0
58	Desgl. geglüht Drahtst Nr. e	2,45	2,0	7,32	33,0	40,5	46,1	18,0	35,2	37,1	Desgl.	11	4	7,5
59	Flußeisen ungeglüht Drahtst Nr. b	2,93	0,28 0,28	0,58	46,1 46,1	60,3	65,8	46,7	51,8	92,9	Scharfe Verwindung	14	7,5	10,7
60	Desgl. geglüht Drahtst Nr. b	2,94	0,84	17,90	18,5	32,9	73,9	12,5	42,1	109,7	Gleichmäßig	19	14	16,5
61	Herdfrischeisen (Schweißeisen) ungeglüht Drahtst Nr. a	2,46	0,34 0,19 0,49	2,29	45,5 44,6 46,5	52,9	62,7	41,3	45,7	61,4	Desgl.	11	5	8,0
62	Desgl. geglüht Drahtst Nr. a	2,48	2,37	28,64	14,5	29,1	75,7	10,2	32,8	55,4	Desgl.	20	15	17,5
	Telegraphen-Drähte.													
63	Flußeisen (verzinkt) ungeglüht Drahtst Nr. d	4,23	0,82 0,14 1,50	13,37	25,8 24,1 27,5	35,9	70,7	24,8	36,3	32,9	Desgl.	6	5	5,5
64	Desgl. geglüht Drahtst Nr. d	4,18	0,57	25,59	14,5	27,1	70,8	10,3	30,9	36,2	Desgl.	9	5	7,0
65	Flußeisen (unverzinkt) ungeglüht Drahtst Nr. f	3,96	1,33	24,99	23,4	37,2	75,8	15,2	43,9	61,7	Desgl.	16	11	13,5
66	Desgl. geglüht Drahtst Nr. f	3,95	0,71	17,93	18,4	32,7	77,0	13,8	38,5	58,8	Desgl.	14	12,5	13,2
67	Herdfrischeisen (verzinkt) (Schweißeisen) ungeglüht Drahtst Nr. c	4,27	0,54 0,29 0,79	12,09	22,3 20,3 24,3	33,7	73,4	24,6	33,8	21,3	Desgl.	7	5	6,0
68	Desgl. (verzinkt) geglüht Drahtst Nr. c	4,16	0,56	27,39	14,6	27,5	75,6	11,1	30,6	38,2	Desgl.	10	7	8,5
69	Desgl. (unverzinkt) ungeglüht Drahtst Nr. g	4,19	0,83	21,19	19,7	32,7	73,8	17,2	37,0	45,1	Desgl.	11	6	8,5
70	Desgl. (unverzinkt) geglüht Drahtst Nr. g	4,18	0,50	23,73	14,8	29,0	71,7	12,6	34,0	42,5	Desgl.	11	8,5	9,7

Digitized by Google

Tabelle 3.

Gegenüberstellung der Mittelwerthe der Ergebnisse der im Anlieferungs- und im geglühten Zustande geprüften Drähte,

geordnet nach den Materialgattungen und nach wachsenden Drahtdurchmessern.

Die erste Reihe jeder Gruppe in der folgenden Zusammenstellung enthält die Mittelwerthe aus den Ergebnissen mit den Drähten im Anlieferungszustande; die zweite die gleichen Werthe für dasselbe Material im ausgeglühtem Zustande, während die dritte jedesmal die Verhältnißzahlen für den ersten Zustand bezogen auf den ausgeglühten, gleich 100 gesetzt, angiebt.

Zeichenerklärung. Es bedeutet:

S. = schwedisches Material,
D. = deutsches Material,
s. = Seildraht oder Einfriedigungsdraht,
t. = Telegraphendraht.

Laufende Nr.	Art des Materials (im Anlieferungszustande)	Durchmesser	Zug				Verwindung			Biegg.	Laufende Nr. aus Tabelle 2	Draht-Nr.
			Bruchlast	Bruchspannung	Dehnung beim Bruch	Querschnitts-Verminderung	Bruchspannung	Verwindungen beim Bruch	Art der Verwindungen	Zahl der Biegungen		
		mm	kg	kg/qmm	%	%	kg/qmm					
	Schweißeisen.											
1	(Schwed). Holzkohleneis.	2,46	280	58,8	0,82	35,2	44,9	24,5	gleichmäßig	7,0	57	
	S. s.	2,45	187	40,5	7,32	46,1	35,2	37,1	do.	7,5	58	c
			145	**11,2**	**76,2**		**127**	**66,0**		**93,2**		
2	Herdfrischeisen	2,46	251	52,9	2,3	62,7	45,7	61,4	gleichmäßig	8,0	61	
	S. s.	2,48	141	29,1	28,6	75,7	32,8	55,4	do.	17,5	62	a
			182	**8,1**	**83,0**		**139,0**	**111,0**		**45,8**		
3	Holzkohleneisen	2,47	267	55,3	1,4	53,0	41,3	28,0	scharf	9,7	5	
	D. s.	2,46	165	35,3	14,8	64,9	31,9	52,0	gleichmäßig	8,5	18	12
			157	**9,5**	**81,9**		**130**	**53,9**		**114**		
4	D. s.	2,47	258	54,7	1,3	42,0	42,9	33,1	gleichmäßig	8,2	1	
		2,47	165	33,3	7,9	57,2	40,3	38,2	do.	7,5	14	9
			164	**16,4**	**73,5**		**106**	**86,5**		**109**		
5	Herdfrischeisen	4,19	450	32,7	21,2	73,1	37,0	45,1	gleichmäßig	8,5	69	
	S. t.	4,18	400	29,0	23,7	71,7	34,0	42,5	do.	9,7	70	g
			113	**89,5**	**102**		**109**	**106**		**87,5**		
6	Herdfrischeisen, verzinkt	4,27	485	33,7	12,1	73,4	33,8	21,3	gleichmäßig	6,0	67	
	S. t.	4,16	375	27,5	27,4	75,6	30,6	38,2	do.	8,5	68	c
			123	**44,0**	**97,5**		**110**	**56,0**		**70,5**		
7	Verzinkt	4,04	507	40,7	8,8	50,4	46,2	21,3	gleichmäßig	4,0	27	
	D. t.	4,11	465	35,8	13,3	56,5	36,1	25,7	do.	4,7	42	1
			114	**66,0**	**89,5**		**128**	**83,0**		**85,0**		
8	D. t.	4,07	500	38,3	16,5	58,7	40,6	32,7	gleichmäßig	7,0	40	
		4,06	503	38,0	15,9	55,9	40,2	29,4	do.	5,5	55	7
			101	**104**	**105**		**101**	**111**		**128**		
9	2/5 Holzkohleneisen	4,09	470	35,8	13,8	51,1	39,0	30,9	gleichmäßig	5,2	33	
	3/5 Koksroheisen	4,09	458	35,1	19,2	45,7	35,3	29,9	do.	5,0	48	3
	D. t.		**102**	**72,0**	**112**		**111**	**103**		**104**		

Digitized by Google

Laufende Nr.	Art des Materials (im Anlieferungszustande)	Durchmesser mm	Zug: Bruchlast kg	Zug: Bruchspannung kg/qmm	Zug: Dehnung beim Bruch %	Zug: Querschnittsverminderung %	Verwindung: Bruchspannung kg/qmm	Verwindungen beim Bruch	Verwindungen: Art der Verwindungen	Biegg.: Zahl der Biegungen	Laufende Nr. aus Tabelle 2	Tradt-Nr.
10	Verzinkt	4,19	562	41,0	9,6	45,5	51,5	21,8	gleichmäßig	3,7	28	1
	D. t.	4,27	540	37,7	15,1	54,4	35,8	27,5	do.	5,2	43	
				108	**63,5**	**83,5**	**144**	**79,3**		**71,2**		
11	Verzinkt	4,32	596	41,2	9,6	51,0	46,5	21,2	gleichmäßig	2,7	29	1
	D. t.	4,40	583	38,8	12,0	57,6	33,5	28,5	do	4,7	44	
				106	**80,0**	**88,8**	**139**	**74,5**		**57,5**		
						Flußeisen.						
12	D. s.	2,47	370	77,0	0,8	57,7	61,1	59,8	gleichmäßig	11,7	2	9a
		2,46	253	51,9	3,5	71,4	61,2	57,3	do.	11,0	15	
				148	**22,8**	**80,5**	**99,7**	**104**		**106**		
13	D. s.	2,49	380	76,7	1,1	49,9	60,8	6,5	sprungweise	9,0	10	17
		2,50	199	40,6	20,4	75,1	40,6	72,6	gleichmäßig	14,0	23	
				189	**5,4**	**66,2**	**150**	**8,9**		**64,2**		
14	S. s.	2,93	410	60,3	0,6	65,8	51,8	92,9	scharf	10,7	59	b
		2,94	223	32,9	17,9	73,9	42,1	109,7	gleichmäßig	16,5	60	
				184	**3,4**	**89,1**	**123**	**84,7**		**64,8**		
15	Verzinkt	2,70	587	102,8	4,3	40,4	77,5	13,1	gleichmäßig	6,0	12	8
	D. s.	2,71	335	56,9	0,9	65,6	64,8	22,8	do.	10,0	25	
	(für Telegraphenkabel)			**181**	**478**	**61,6**	**119**	**57,3**		**60,0**		
16	D. s.	2,92	510	76,5	0,8	52,7	55,9	47,2	sprungweise	9 0	9	16
		2,91	308	46,1	8,5	69,1	46,9	52,9	gleichmäßig	11,2	22	
				166	**9,4**	**76,3**	**119**	**89,2**		**80,3**		
17	D. s.	2,94	559	82,1	0,9	52,0	63,1	41,8	sprungweise	8,7	4	11
		2,93	370	53,9	4,5	68,0	64,8	42,7	gleichmäßig	10,0	17	
				152	**20,0**	**76,5**	**97 5**	**97,7**		**87,0**		
18	D. s.	2,95	435	64,3	3,1	64,4	53,4	40,8	sprungweise	8,5	3	10
		2,94	350	50,7	2,8	67,4	52,7	53,4	gleichmäßig	9,5	16	
				127	**111**	**95,5**	**101**	**76,5**		**89,4**		
19	D. s.	2,98	503	71,5	1,4	47,2	53,3	15,2	sprungweise	8,0	11	18
		2,98	255	36,7	22,1	75,2	38,3	59,7	gleichmäßig	14,0	24	
				194	**6,3**	**62,8**	**130**	**25,5**		**57,2**		
20	D. s.	3,05	621	84,7	1,2	43,5	60,0	17,6	sprungweise	6,5	7	15
		3,04	385	53,8	3,2	61,1	49,9	20,5	gleichmäßig	7,5	20	
				158	**37,5**	**71,0**	**120**	**86,0**		**86,7**		
21	Verzinkt	3,70	1039	96,9	5,7	39,2	77,4	7,4	—	3,5	13	8
	D. s.	3,67	500	46,3	17,9	70,5	53,3	62,0	—	9,0	26	
	(für Telegraphenkabel)			**208**	**31,8**	**55,7**	**146**	**12,0**		**38,9**		
22	S. t.	3,96	460	37,2	25,0	75,8	43,9	61,7	gleichmäßig	13,5	65	f
		3,95	400	32,7	17,9	77,0	38,5	58,8	do.	13,2	66	
				114	**139**	**98,5**	**114**	**105**		**102**		

Digitized by Google

Laufende Nr.	Art des Materials (im Anlieferungszustande)	Durchmesser mm	Zug: Bruchlast kg	Zug: Bruchspannung kg/qmm	Zug: Dehnung beim Bruch %	Zug: Querschnittsverminderung %	Verwindung: Bruchspannung kg/qmm	Verwindungen beim Bruch	Art der Verwindungen	Biegg. Zahl der Biegungen	Laufende Nr. aus Tabelle 2	Draht-Nr.
23	Gezogen und geglüht	4,01	463	36,6	17,2	71,5	40,8	51,0	gleichmäßig	10,2	39	6
	D. t.	3,98	488	39,1	15,4	72,7	44,7	38,4	do.	9,0	54	
				93,6	**112**	**98,2**	**91,3**	**133**		**113**		
24	Verzinkt	4,23	506	35,9	13,4	70,7	36,3	32,9	gleichmäßig	5,5	63	4
	S. t.	4,18	375	27,1	25,6	70,8	30,9	36,2	do.	7,0	64	
				133	**52,2**	**100**	**118**	**90,8**		**78,5**		
25	Verzinkt. Thomaseisen	4,01	525	42,2	12,7	65,7	51,1	40,4	gleichmäßig	7,0	30	2
	D. t.	4,05	503	39,2	15,7	75,4	43,1	57,1	do.	9,7	45	
				108	**81,0**	**87,0**	**118**	**70,7**		**72,2**		
26	D. t.	4,13	603	45,1	10,7	66,6	46,4	45,2	gleichmäßig	8,7	35	5
		4,13	520	39,0	17,0	68,6	40,1	48,4	do.	10,0	50	
				115,5	**63,0**	**97,0**	**116**	**93,5**		**87,0**		
27	D. t.	4,16	493	36,3	16,4	73,9	40,0	43,9	gleichmäßig	3,5	38	6
		4,15	463	34,2	20,6	75,7	40,2	45,5	do.	10,2	53	
				106	**79,5**	**97,8**	**100**	**96,5**		**93,2**		
28	Verzinkt. Thomaseisen	4,16	591	44,5	13,7	67,4	50,7	33,6	gleichmäßig	6,2	31	2
	D. t.	4,16	587	42,0	15,1	70,9	42,4	49,6	do.	8,0	46	
				106	**90,8**	**95,0**	**120**	**67,3**		**77,5**		
29	D. t.	4,21	567	40,8	12,3	69,0	43,3	45,5	gleichmäßig	8,7	36	5
		4,21	505	36,4	19,1	70,8	39,0	50,6	do.	10,7	51	
				112	**64,2**	**97,5**	**111**	**90,0**		**81,5**		
30	Gezogen und geglüht	4,22	540	38,3	14,5	73,3	41,7	42,6	gleichmäßig	10,7	37	6
	D. t.	4,20	493	35,7	19,4	73,2	39,8	48,6	do.	9,2	52	
				107	**74,8**	**97,6**	**105**	**87,5**		**116**		
31	Verzinkt	4,23	588	41,9	11,9	72,4	41,5	33,4	gleichmäßig	6,7	34	4
	D. t.	4,25	540	38,0	13,1	73,3	40,8	49,1	do.	8,2	49	
				110	**90,8**	**99,0**	**102**	**68,0**		**81,8**		
32	Verzinkt. Thomaseisen	4,26	651	46,1	13,6	63,8	50,8	31,6	gleichmäßig	6,5	32	2
	D. t.	4,27	615	42,2	16,3	71,0	40,2	44,8	do.	8,5	47	
				109	**83,5**	**90,0**	**126**	**70,5**		**76,5**		
33	D. t.	4,31	578	39,2	13,5	72,8	43,4	43,9	gleichmäßig	8,7	41	5
		4,32	525	35,7	22,4	74,8	38,7	40,4	do.	9,7	56	
				110	**60,2**	**97,5**	**112**	**109**		**90,0**		
	Flußstahl.											
34	Patent-Tiegelgußstahl	2,94	861	126,3	1,5	53,2	93,9	27,4	gleichmäßig	9,5	8	13
	D. s.	2,97	328	47,2	14,3	67,8	45,0	57,4	do.	15,7	21	
				267	**10,5**	**78,5**	**208**	**47,6**		**60,5**		
35	Bessemerstahl	3,00	477	67,0	3,1	50,2	53,9	43,3	sprungweise	7,2	6	14
	D. s.	2,98	305	44,3	4,7	64,3	45,5	45,5	gleichmäßig	10,0	19	
				151	**66,0**	**78,0**	**118**	**95,2**		**72,0**		

Digitized by Google

Tabelle 4.

Schlußübersicht A.

Zusammenstellung der Verhältnißzahlen des Materials im Anlieferungszustande zu dem ausgeglühten Zustande, gleich 100 gesetzt, geordnet nach Gruppen und wachsenden Verhältnißzahlen für die Bruchspannung.

Laufende Nr. aus Tabelle 3	Draht-Nr.	Materialgattung	Drahtdurchmesser rund	Zugversuche			Verwindungsversuche		Biegungsversuche	Leitungsfähigkeit im Verhältniß zu Quecksilber bei	Bemerkungen.
				Bruchspannung	Dehnung	Querschnittsverminderung	Bruchspannung	Verwindungszahl	Biegungszahl	0 °C.	
			mm	kg/qmm	%	%	kg/qmm				
A. Im Anlieferungszustand angeblich bereits geglüht.											
Nr. 23	6	Flußeisen D. t.	4,0	93,6	112	98,2	91,3	133	113	absolut 9,24	
„ 30	6	do. D. t.	4,2	107	74,8	97,6	105	87,5	116	8,58	
B. Verzinkte Drähte.											
Nr. 11	1	Schweißeisen D. t.	4,3	106	80,0	88,8	139	74,5	57,5	8,17	
„ 28	2	Thomaseisen D. t.	4,2	106	90,8	95,0	120	67,3	77,5	7,05	
„ 10	1	Schweißeisen D. t.	4,2	108	63,5	83,5	144	79,3	71,2	7,77	
„ 25	2	Thomaseisen D. t.	4,0	108	81,0	87,0	118	70,7	72,2	6,46	
„ 32	2	do. D. t.	4,3	109	83,5	90,0	126	70,5	76,5	6,57	Nr. 15 u. 23 sind zu Umhüllungsdrähten f. Telegraphenkabel bestimmt.
„ 31	4	Flußeisen D. t.	4,2	110	90,8	99,0	102	68,0	81,8	7,60	
„ 7	1	Schweißeisen D. t.	4,1	114	66,0	89,5	128	83,0	85,0	8,02	
„ 6	c	do. S. t.	4,2	123	44,0	97,5	110	56,0	70,5	10,11	
„ 24	d	Flußeisen S. t.	4,2	133	52,2	100	118	90,8	78,5	9,70	
„ 15	8	do. D. s.	2,7	181	478*)	61,6	119	57,3	60,0		*) nach Attest Za 11.27 richtig.
„ 21	8	do. D. s.	3,7	208	31,8	55,7	146	12,0	38,9		
E. Drähte ohne nähere Angabe.											
Nr. 8	7	Schweißeisen D. t.	4,1	101	104	105	101	111	128	7,97	
„ 9	3	do. D. t.	4,1	102	72,0	112	111	103	104	8,70	
„ 27	6	Flußeisen D. t.	4,2	106	79,5	97,8	100	96,5	93,2	8,80	
„ 33	5	do. D. t.	4,3	110	60,2	97,5	112	109	90,0	8,96	
„ 29	5	do. D. t.	4,2	112	64,2	97,5	111	90,0	81,5	9,00	
„ 5	g	Schweißeisen S. t.	4,2	113	89,5	102	109	106	87,5	9,36	
„ 22	f	Flußeisen S. t.	4,0	114	139	98,5	114	105	102	9,85	
„ 26	5	do. D. t.	4,1	115,5	63,0	97,0	116	93,5	87,0	9,32	
„ 18	10	do. D. s.	3,0	127	111	95,5	101	76,5	89,4		
„ 1	e	Schweißeisen S. s.	2,5	145	11,2	76,2	127	66,0	93,2		
„ 12	9a	Flußeisen D. s.	2,5	148	22,8	80,5	99,7	104	106		
„ 35	14	Bessemerstahl D. s.	3,0	151	66,0	78,0	118	95,2	72,0		
„ 17	11	Flußeisen D. s.	3,0	152	20,0	76,5	97,5	97,7	87,0		
„ 3	12	Schweißeisen D. s.	2,5	157	9,5	81,9	130	53,9	114		
„ 20	15	Flußeisen D. s.	3,0	158	37,5	71,0	120	86,0	86,7		
„ 4	9	Schweißeisen D. s.	2,5	164	16,4	73,5	106	86,5	109		
„ 16	16	Flußeisen D. s.	2,9	166	9,4	54,8	119	89,2	80,3		
„ 2	a	Schweißeisen S. s.	2,5	182	8,1	83,0	139	111	45,8		
„ 14	b	Flußeisen S. s.	2,9	184	3,4	89,1	123	84,7	64,8		
„ 13	17	do. D. s.	2,5	189	5,4	66,2	150	8,9	64,2		
„ 19	18	do. D. s.	3,0	194	6,3	62,8	139	25,5	57,2		
„ 34	13	Gußstahl D. s.	3,0	267	10,5	78,5	208	47,6	60,5		

Digitized by Google

Namentlich in letzterer Beziehung ist nachdrücklich hervorzuheben, daß es gewagt sein würde, die Leistungsfähigkeit zweier Industriegebiete in Bezug auf die Qualität der erzeugten Waare auf Grund der Erfahrungen an so wenigen Probestücken in Vergleich stellen zu wollen.

Es ist selbst bei sorgfältigster und umfassendster Prüfung der einzelnen Eigenschaften nicht möglich, auf Grund weniger Proben ein zutreffendes Bild von dem Charakter eines Materials zu entwerfen, weil gar zu viele einzelne Factoren in der Fabrikation mitspielen, die die einzelnen, oft die wichtigsten Eigenschaften verdunkeln und verdecken.

Hierin muß der Grund gefunden werden, weshalb trotz der zahlreichen wissenschaftlichen und praktischen Untersuchungen und Beobachtungen und trotz des großen aufgespeicherten Materials immer noch so wenig Klarheit in der Materialienkunde herrscht, daß selbst die besten Materialienkenner heutzutage außer Stande sind, sich ein völlig klares Bild über die Grundeigenschaften der technisch verwendbaren Körper zu machen, geschweige ziffermäßig den Einfluß der einzelnen Fabrikationsprocesse beim Schmelzen, Walzen, Schmieden, Drahtziehen u. s. w. anzugeben.

Man darf, streng genommen, für den gegenwärtigen Vergleich die Ergebnisse mit verschieden dicken Drähten nicht gegenüber stellen, weil man nach Lage unserer Kenntniß den Einfluß, den die mechanische Bearbeitung beim Ziehen auf die Festigkeitseigenschaften der verschiedenen Materialien ausübt, nicht genügend in Rechnung stellen kann. Deswegen sind in der Tabelle 3 die Ergebnisse außer nach den Materialien auch nach den Drahtdurchmessern geordnet worden. Die Zahlen lassen sich aber trotzdem nicht dazu benutzen, irgend ein Gesetz nach der vorgenannten Richtung aufzustellen, weil das Material verschiedenen Ursprungs war. Der Vergleich der Ergebnisse zweier benachbarter Drahtsorten der Tabelle würde wohl ohne Anstand durchführbar sein, weil der Grad der mechanischen Bearbeitung von Drähten gleichen Materials voraussichtlich keine zu großen Unterschiede ergeben wird.

Man wird bei aufmerksamem Durchgehen der Tabellen finden, daß im Großen und Ganzen die Abweichungen in den Eigenschaften des geglühten Materials von verschiedenen deutschen Fabrikaten keine sehr großen sind, daß also, so weit man aus der vorliegenden Untersuchung überhaupt zu derartigen Schlüssen berechtigt ist, man in Deutschland versucht oder dazu genöthigt wird, die gleichen Aufgaben durchweg mit einem Material zu lösen, welches eine größere absolute und Torsions-Festigkeit besitzt als das schwedische, wobei es aber eine wesentlich geringere Dehnbarkeit und Biegsamkeit zeigt als letzteres, während die Querschnittsverminderung im Großen und Ganzen nur wenig hinter derjenigen des schwedischen Materials zurücksteht. Einzelne Ausnahmen von dieser Regel finden sich freilich. Es scheint nach dem Durchsehen der Tabellen, als ob bei den Telegraphen-Drähten eine bessere Gleichmäßigkeit in der Fabrikation herrsche als bei den Seildrähten.

Wenn man die Sache eingehender verfolgt, so ist dies an sich verständlich. Der Umstand kommt aber gerade durch die Prüfung der Drähte im geglühten Zustande klar zu Tage.

Betrachtet man nämlich die Tabelle 4, in welcher die Prüfungsergebnisse so zusammengestellt sind, daß der Einfluß des Ausglühens auf die Materialqualität erkennbar wird, so sieht man, daß die Telegraphendrähte durchgehends vor dem Versand entweder absichtlich, oder beim Verzinken nebenbei ausgeglüht, beziehentlich nach dem letzten Ausglühen nicht hart gezogen oder gewalzt worden sind.

Man sieht, wie ganz ohne irgend welche Beabsichtigung die Telegraphendrähte und Seildrähte in der Tabelle in zwei scharf trennbare Gruppen zerfallen. Bei den Telegraphen-

Digitized by Google

drähten geht mit alleiniger Ausnahme der Drahtsorten Nr. 6 und 24 aus schwedischem Material das Verhältniß der Festigkeit im Anlieferungszustande zu derjenigen im geglühten nicht über die Zahl 115 hinaus, wobei das gleiche Verhältniß für die Dehnungen immer noch hoch bleibt und in der Regel mehr als 70 beträgt. Bei den beiden genannten schwedischen Drähten ist ersichtlich, daß man versucht hat, ein wesentlich weicheres Material, als es unsere inländischen Fabrikanten zu verwenden pflegen, durch Hartziehen fester zu machen. Stellt man die Leitungsfähigkeit dieses Materials derjenigen des im geglühten Zustande, also an sich härteren gleichfalls schwedischen Materials gegenüber, so ergiebt sich:

Draht Nr. 6	= 10,11	Draht Nr. 5	= 9,96
„ „ 24	= 9,70	„ „ 22	= 9,85
Mittel	9,91	Mittel	9,91

daß in der Leitungsfähigkeit des Materials in diesen vier Fällen kein bemerkbarer Unterschied in Folge der andersartigen Bearbeitung eingetreten ist. Bezüglich des Bearbeitungsgrades herrscht bei den beiden Gattungen ein freilich nicht bedeutender Unterschied, denn die Verhältnißzahlen, welche diesen Grad am klarsten erkennen lassen, zeigen folgende Werthe:

	Festigkeit	Dehnung
1) Draht Nr. 6	123	44
„ „ 24	133	52,2
2) Draht Nr. 5	113	89,5
„ „ 22	114	139

woraus sich ergiebt, daß die zweite Gruppe dem völlig ausgeglühten Zustande näher war als die erstere. Stellt man in gleicher Weise die absoluten Werthe im Anlieferungszustande gegenüber, so ergiebt sich:

	Festigkeit	Dehnung	Querschnittsverminderung	Verwindungszahl	Biegungszahl
1) Draht Nr. 6	33,7	12,1	73,4	21,3	6
„ „ 24	35,9	13,1	70,7	32,9	5,5
2) Draht Nr. 5	32,7	21,2	73,1	45,1	8,5
„ „ 22	37,2	25,0	75,8	61,7	13,5

Aus diesen Zahlen folgt, daß die Materialien im Lieferungszustande sich bezüglich ihrer Eigenschaften nur wenig unterscheiden, daß nur die der zweiten Gruppe um ein weniges zäher erscheinen als diejenigen der ersten Gruppe. Dies Ergebniß ist das naturgemäße, weil wahrscheinlich alle vier Drahtsorten nach denselben Lieferungsbedingungen fabricirt sein werden und demgemäß nahezu gleiche Eigenschaften zeigen mußten.

Diese letzte Bemerkung gilt von den Telegraphendrähten überhaupt.

Lassen also die vorher behandelten schwedischen Drähte scheinbar erkennen (ob hier ein gesetzmäßiges Verhalten vorliegt, kann selbstverständlich nur durch eine besondere Untersuchungsreihe festgestellt werden), daß ein geringer Grad von mechanischer Bearbeitung des Drahtes (Hartziehen) keinen ungünstigen Einfluß auf die Leitungsfähigkeit des Telegraphendrahtes ausübt, so muß man fragen, ob es nicht möglich sein würde, auch das deutsche

Digitized by Google

Fabrikat der Leistungsfähigkeit des schwedischen näher zu bringen, indem man ebenfalls ein Material von etwas geringerer Festigkeit (im ausgeglühten oder „Grundzustande" verstanden) verwendet, welches nach einem mäßigen Hartziehen die vorgeschriebene Festigkeit erreicht und zugleich so zäh bleibt, daß auch die sonstigen Qualitätsvorschriften erfüllt werden. Es ist nicht bekannt, ob in der Industrie und mit welchem Erfolge derartige Versuche gemacht worden sind, oder ob es überhaupt thunlich ist, zähere inländische Eisensorten mit ökonomischem Vortheil zu verwenden.

Auch die Krell'sche Methode des Ausglühens mehr oder minder hartgezogener Drähte bei bestimmten Wärmegraden ließe sich in dieser Richtung vielleicht verwerthen, und der deutsche Gewerbfleiß könnte einen großen Vortheil aus einer eingehenden Untersuchung über die gesetzmäßigen Beziehungen des Einflusses in der angegebenen Richtung ziehen.

Aus der Tabelle 4 geht jedenfalls hervor, daß sowohl die inländische als auch die ausländische Industrie im Allgemeinen für Telegraphendrähte ein Material benutzt, welches dem ausgeglühten Zustande näher kommt, während für Seilmaterial fast ausnahmslos ein hartgezogenes Material verwendet wird, bei welchem das Festigkeitsverhältniß gegen den ausgeglühten Zustand größer als 127, das Dehnungsverhältniß in der Regel kleiner ist als 30. Es kommen nur vereinzelte Ausnahmen hiervon bei Drähten vor, welche überhaupt ein außerordentliches Verhalten zeigten.

Man ersieht, daß im Allgemeinen das deutsche Material sowohl im geglühten als auch im Anlieferungszustande fester ist als das schwedische, daß letzteres aber in der Regel eine größere Dehnung und größere Querschnittsverminderung zeigt als das deutsche, wobei die Differenzen in der Dehnung größer zu sein scheinen als in der Querschnittsverminderung. Die Verwindungs- und Biegungsfähigkeit des deutschen Materials ist geringer als diejenige des schwedischen; die Leitungsfähigkeit ist ebenfalls geringer.

Vergleicht man in letzterer Beziehung nochmals Tabelle 4, in welche die Leitungsgüte im Anlieferungszustande in der letzten Spalte niedergeschrieben ist, so läßt sich eine gesetzmäßige Abhängigkeit von dem Materialzustande eigentlich nicht erkennen. Untersuchungen über die Veränderungen, welche der elektrische Widerstand durch das Ausglühen erfährt, sind nicht angestellt worden, weil die Nothwendigkeit derartiger Versuche erst bei der Schlußzusammenstellung der Ergebnisse hervortrat. Es darf hier daher nicht unterlassen werden, zu betonen, daß es von Wichtigkeit zu sein scheint, das Gesetz der Abhängigkeit der Leitungsgüte von dem jeweiligen Materialzustande durch eine besondere Untersuchungsreihe festzustellen, welche ganz ähnlich auszuführen sein würde, wie die zu Anfang dieses Berichtes erwähnten Krell'schen Versuche.

Es kann keine Frage sein, daß man hierbei zu praktisch ausnutzbaren Resultaten kommen würde, wenn die Versuche auf einer gehörig breiten Unterlage ausgeführt werden.

Ueber die Ergebnisse der chemischen und der mikroskopischen Untersuchung der Telegraphendrähte wird besonders berichtet werden.

Verantwortlicher Redacteur: Dr. **Hermann Wedding.** — Verlag von **Julius Springer** in Berlin.

Druck von Eduard Krause in Berlin.

Digitized by Google

Mittheilungen
aus den
Königlichen technischen Versuchsanstalten
zu Berlin.
Herausgegeben im Auftrage der Königlichen Aufsichts-Kommission.

Redacteur: Geheimer Bergrath Dr. Wedding,
Mitglied der Königl. Aufsichts-Kommission.

Ergänzungsheft III. 1887.

1) Mikroskopische Untersuchung des Papiers

von

W. Herzberg,
erstem Assistenten der Abtheilung für Papierprüfung.

Mit 2 Lichtdrucktafeln.

---

2) Ergebnisse der Prüfungen von Apparaten zur Untersuchung der Festigkeitseigenschaften von Papier

von

A. Martens,
Vorsteher der Königlichen mechanisch-technischen Versuchsanstalt.

Mit 1 lithographirten Tafel.

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1887.

Digitized by Google

1. Mikroskopische Untersuchung des Papiers.

Vom ersten Assistenten der Abtheilung für Papierprüfung W. Herzberg.

Aufgabe der mikroskopischen Papierprüfung ist es hauptsächlich, zunächst die Art der Fasern zu bestimmen, aus denen ein Papier hergestellt ist; erst in zweiter Linie soll sie Aufschluß darüber geben, in welchem Zustand sich die Fasern befinden und in welchen Mengen dieselben vorhanden sind, soweit sich dies überhaupt durch das Auge beurtheilen läßt. Auf Füllstoffe und Farbstoffe mikroskopisch zu untersuchen, wie von verschiedenen Seiten vorgeschlagen wird, dürfte ebenso schwierig wie unpraktisch sein, da der rein chemische Weg sicherer und leichter zu demselben Ziele führt. Der Verfasser ist von dem Gesichtspunkte ausgegangen, das Ziel der mikroskopischen Prüfung auf die möglichst einfachste Weise und unter Benutzung der denkbar geringsten Hülfsmittel zu erreichen, damit auch Interessenten, welche nicht wissenschaftlich gebildet und mit den neuesten Fortschritten der Mikroskopie vertraut sind, in dieser Arbeit einen Anhalt zur Prüfung finden mögen. Leider ist es bis jetzt noch nicht gelungen, jede einzelne Faserart verschieden zu färben und es so dem Auge leicht zu machen, daraufhin eine Unterscheidung zu gründen; es ist auch kaum anzunehmen, daß es dahin kommen wird, weil die Fasern theilweise einen zum Verwechseln ähnlichen Bau besitzen und sich allen chemischen Mitteln namentlich Farbstoffen gegenüber, fast gleich verhalten. Durch Anwendung von Jodlösung gelingt es jedoch, die Papierfasern in drei Klassen zu trennen, die das Auge leicht durch ihre verschiedenartige Färbung bezw. durch das Fehlen einer solchen unterscheiden kann. Innerhalb dieser drei Klassen konnten Unterschiede durch Färbung nicht hervorgerufen werden. Eine sichere Kenntniß des Aufbaues der Fasern ist daher unbedingtes Erforderniß zur Bestimmung derselben. Der Bau der Zelle giebt genügende Anhaltspunkte, obschon auch diese nicht immer so sicher sind, daß Verwechselungen einzelner Fasern ausgeschlossen erscheinen, zumal die Fasern der mechanisch zerkleinerten Rohmaterialien selten in ihrem natürlichen Zustand gefunden werden, sondern oft bis zur Unkenntlichkeit zerrissen und zerquetscht sind. Bei denjenigen Materialien, bei welchen der Zusammenhang der Pflanzenzellen durch Einwirkung chemischer Agentien gelöst wird, wie beim Holz und Stroh, findet eine Zerstörung der einzelnen Zellen weit weniger statt, und sind diese daher im Papier meist im ziemlich unversehrten Zustande vorzufinden. Durch die Unterscheidung in drei Klassen ist wenigstens erreicht, daß eine Verwechselung von Lumpenfasern mit Cellulosefasern selbst dem Laien unmöglich ist, und das ist bei unserer geringen Kenntniß der Dauerhaftigkeit der Cellulose zunächst die wichtigste Aufgabe der mikroskopischen Papierprüfung.

Im Folgenden ist nur auf die bei uns hauptsächlich zu Papier verarbeiteten Fasern Rücksicht genommen, nämlich Leinen, Hanf, Baumwolle, Holz-, Stroh- und Espartocellulose, Jute und Holzschliff.

Vorbereitung des Papiers.

Das Papier als solches ist zum Mikroskopiren nicht ohne Weiteres geeignet. Der Regel nach wird vorgeschrieben, ein kleines Stück des zu untersuchenden Papiers auf dem

Digitized by Google

Objectglase in einem Tropfen Wasser, Glycerin o. a. mit Präparirnadeln zu zerfasern und unter dem Mikroskope zu betrachten: aber diese Methode ist roh und unvollkommen, weil die neben den Fasern im Papier vorhandenen Körper, wie Leim, Stärke, Füllstoffe ꝛc., den Zellaufbau verdecken und so das Erkennen erschweren. Aus demselben Grunde ist das vom Hofrath F. in Wiesbaden angerathene und im Jahrgang 1885 der „Papierzeitung" veröffentlichte Verfahren, das Papier für die mikroskopische Untersuchung mit Hülfe eines Schleifsteines zu zerkleinern, zu verwerfen. Um die oben erwähnten der Untersuchung hinderlichen Substanzen zu entfernen, ist es zweckmäßig, das Papier vorher in ganz verdünnter Natron- oder Kalilösung in einer Porcellanschale zu kochen. *)

Zur Erlangung einer guten Durchschnittsprobe entnimmt man am besten aus verschiedenen Bogen kleine Stücke des zu untersuchenden Papiers (die bei den Festigkeitsversuchen zerrissenen Streifen eignen sich sehr gut hierzu), übergießt diese in einer Porcellanschale mit Wasser, fügt eine geringe Menge verdünnter Natronlösung hinzu und erhitzt das Ganze zum Kochen, wobei sich die Natronlösung allmählich durch Lösen des Leims gelblich färbt. Schon beim Kochen verräth sich die Anwesenheit eines der erwähnten Faserstoffe, nämlich des Holzschliffs. Holzschliffhaltiges Papier färbt sich beim Erwärmen mit der Lauge erbsengelb, eine Färbung, die namentlich beim Kochen sehr deutlich hervortritt, während holzschliffreies Papier im Aussehen unverändert bleibt, wenn nicht etwa das Papier gefärbt ist und die Natronlauge auf die Farbe einwirkt.

Man kocht ungefähr eine Viertelstunde und befördert den Lösungsproceß des Leims durch häufiges Umrühren mit einem Glasstabe. Papiere, die aus geringerem Material und solche, die mit viel Füllstoffen hergestellt sind, verlieren hierbei ihren Zusammenhang leicht und vollkommen und ergeben eine breiige Masse, während festere Papiere sich erst nach heftigem Rühren, dann aber auch vollständig zerfasern. Ist das Kochen beendet, so gießt man das Ganze in einen aus Messingblech hergestellten und unten durch ein feinmaschiges Sieb verschlossenen Trichter von nebenstehender Form und gießt Wasser über die darin befindliche Masse, um die den Fasern anhaftende Lauge möglichst zu entfernen.

Fig. 1.

Die Papiermasse zerreibt man in einem Porcellanmörser unter geringem Wasserzusatz zu einem möglichst gleichmäßigen Brei, bis alle klumpigen Theile verschwinden.

Bei farbigen Papieren ist zunächst der Farbstoff vollständig zu entfernen; es wird dies in den meisten Fällen schon durch den Kochproceß erreicht; andernfalls muß man es durch Behandlung des Papiers mit Salzsäure, Chlorkalk oder anderen farbenzerstörenden Mitteln zu erreichen suchen. Eine Methode, die in allen Fällen zum Ziele führt, kann nicht angegeben werden, da eine solche in jedem besonderen Fall von der chemischen Natur des verwendeten Farbstoffes abhängig ist.

Bei nicht geleimten Papieren wird zum Kochen Wasser verwendet. Vermuthet man in dem Papier Wolle, so nimmt man ein Gemisch von Alkohol und Wasser, da die Wollfasern von der Natronlauge aufgelöst werden würden.

Der Einwand, daß die Fasern, welche schon durch den Fabrikationsproceß arg gelitten haben, durch das Reiben im Mörser noch weiter entstellt und unkenntlich gemacht werden, würde nicht zutreffend sein. Es wird das Reiben im Mörser, wenn überhaupt erforderlich,

*) Eine concentrirte Lösung würde ein zu starkes Aufquellen der Fasern verursachen; eine 1—2-procentige Lösung genügt vollkommen.

Digitized by Google

nur sehr geringfügig zu sein brauchen, um ein vollständiges Zergehen des Papiers hervorzurufen. In der Versuchsanstalt sind viele Papiere untersucht, von denen ein Theil gekocht und zerrieben, ein anderer nur gekocht war; es war unmöglich, einen Unterschied in dem Zustande der Fasern festzustellen. Zudem erspart man durch die Breiform des Papiers das Zerkleinern mit Präparirnadeln und erhält leicht klare und übersichtliche Präparate.

Untersuchung des durch Kochen mit Natronlauge erhaltenen Breies.

Die Fasern werden behufs Untersuchung in Jodlösung gelegt, welche man durch Auflösen von Jod in einer wässerigen Jodkaliumlösung bereitet. Die Stärke der Lösung ist ziemlich gleichgültig; eine starke Lösung färbt die Fasern dunkler, eine schwache heller. In der Versuchs-Anstalt wird meist mit einer Lösung gearbeitet, welche aus 2 g Jodkalium, 1,15 g Jod und 20 cc Wasser hergestellt ist. Andere Lösungen als Jodlösung sind für die Untersuchung entbehrlich. Zum Zertheilen des Breies auf dem Objectglase bedient man sich zweier Präparirnadeln, am besten aus Platin, da andere Materialien, namentlich die vielfach verwendeten Hornnadeln, von der Jodlösung stark angegriffen werden. Für die eine der Nadeln wählt man zweckmäßig eine lanzettförmige Spitze.

Vor der Benutzung des Breies rührt man denselben mit dieser Nadel um; es bleibt dann beim Herausnehmen derselben eine für ein Präparat genügende Fasermasse hängen. Diese bringt man in einen Tropfen Jodlösung, den man vorher auf das gut gereinigte Objectglas gebracht hat; durch einfaches Umrühren gelingt die gleichmäßige Vertheilung der Fasern im Object leicht. Das Objectglas legt man hierbei hohl über eine weiße Unterlage, da sich die Fasern auf diese Weise am besten vom Untergrund abheben. Fig. 2 zeigt eine Vorrichtung, wie sie zu diesem Zwecke in der Versuchsanstalt angewandt wird. Das Präparat wird mit einem Deckgläschen bedeckt und mit einem Stück Fließpapier, welches man gegen den Rand hält, die zuviel zugesetzte Jodlösung fortgenommen. Hierbei ist indessen darauf zu achten, daß man das Papier nicht zu lange Zeit saugen läßt, da sonst zwischen Object und Deckglas Luftblasen entstehen, die beim Untersuchen lästig sind. Im durchfallenden Licht muß das Präparat nun vollkommen gleichmäßig gefärbt erscheinen; sind noch deutlich hervortretende dunkle Punkte zu bemerken, so sind die Fasern noch nicht hinreichend gleichmäßig vertheilt und man thut gut, die Zusammenballungen zu entfernen, bezw. ein neues Präparat herzustellen.

Fig. 2.

Für die Untersuchung der Fasern empfiehlt sich eine 300fache lineare Vergrößerung; man erkennt freilich viele Fasern schon bei einer geringeren Vergrößerung, aber manche Feinheiten des Faserbaues gehen verloren. In der Versuchsanstalt wird mit Zeißschen Mikroskopen, dem Ocular Nr. 2 und dem Objectiv E, gearbeitet. Dies entspricht einer 355fachen Vergrößerung, die für eine Unterscheidung der Fasern, soweit solche möglich ist, vollkommen ausreicht und sich sehr gut bewährt hat.

Will man sich einen Ueberblick über die Menge der verschiedenen Faserarten verschaffen, so wählt man eine geringere, etwa 120fache Vergrößerung, damit eine größere Fläche auf einmal übersehen werden kann. Das Urtheil ist indeß stets, auch bei vieler Uebung unzuverlässig, da die Fasern theilweise so zerkleinert sind, daß ihre Abstammung mit

Digitized by Google

Sicherheit überhaupt nicht mehr festgestellt werden kann. Ein Beispiel dieser Art giebt Fig. 1 Taf. I. Es gilt dies im Wesentlichen nur von den mechanisch zerkleinerten Materialien, also vorwiegend von den Lumpenfasern. Bei den chemisch zubereiteten Rohstoffen liegen die Verhältnisse bedeutend günstiger, weil die durch den chemischen Proceß bereits gelockerten Zellen im Holländer einer kürzeren mechanischen Bearbeitung bedürfen und deswegen weniger zerstört werden. Beim Holzschliff wird die Zerstörung der Fasern für die sichere Erkennung nicht von so nachtheiligem Einfluß, da hier geeignete Färbungsmittel für den unzweifelhaften Nachweis zu Gebote stehen. Unter der Annahme, daß alle oben erwähnten Faserstoffe im Papier vorhanden sind, erblickt man durch das Mikroskop in dem in Jodlösung eingelegten Präparat Folgendes: I. Gelb gefärbte Fasern: 1. Holzschliff und 2. Jute. — II. Farblose Fasern: 1. Holz-, 2. Stroh-, 3. Esparto-Cellulose. — III. Braun gefärbte Fasern: 1. Baumwolle, 2. Leinen, 3. Hanf.

I. Gelb gefärbte Fasern.*)

1. Holzschliff.**)

Zur Fabrikation von Holzschliff werden bei uns in Deutschland zum größten Theil Nadelhölzer (Pinus sylvestris Kiefer, P. picea Fichte, P. abies Weißtanne und auch wohl P. larix Lärche) verwendet und es sollen deshalb nur diese Holzarten hier berücksichtigt werden. Bei der sehr großen Anzahl der in der Versuchsanstalt ausgeführten Holzschliffuntersuchungen ist bis jetzt nie Holzschliff aus Laubhölzern vorgekommen. Zum Nachweis desselben können aber die unter II 1 (Holzcellulose) angegebenen Erkennungsmerkmale dienen.

Der anatomische Bau aller zur Ordnung der Nadelhölzer gehörigen Arten, wie Fichte, Tanne, Kiefer ꝛc., ist ein sehr gleichartiger und deshalb die auf geringe Verschiedenheiten in dem Bau der Markstrahlen gestützte Unterscheidung eine recht schwierige. Bei der Papierprüfung hat diese Unterscheidung wenig Werth und es soll daher, um die Untersuchung nicht unnütz zu erschweren und zu erweitern, auf die anatomischen Verschiedenheiten der einzelnen Coniferenarten nicht weiter eingegangen werden, umsomehr nicht, als man in Wiesners Technischer Mikroskopie oder in ähnlichen Werken die Unterscheidungsmerkmale finden kann.

Fig. 3.

Diejenigen Zellen nun, die dem Beobachter sofort auffallen und die auch am zahlreichsten vertreten sind, sind die sogenannten Holzzellen, mehr oder weniger dünnwandige Zellen, die durch die Tüpfel oder behöften Poren ihrer Radialwände sehr charakteristisch gekennzeichnet und deshalb leicht zu finden sind. Die Tüpfel erscheinen von der Fläche aus gesehen meist als 2 concentrische Kreise, wie solches in Fig. 3 deutlich wahrzunehmen ist. Hier findet sich eine schematische Darstellung dieser Tüpfel a) von der Fläche gesehen, b) in Seitenansicht; letztere wird man indessen bei Untersuchungen selten wahrnehmen. Die Tüpfelzellen im Herbst- und Frühjahrsholz erscheinen mehr oder weniger elliptisch geformt und zur Längsachse der Zelle schief gestellt.

Wenn auch viele Holzzellen beim Schleifen des Holzes zertrümmert werden (Fig. 2 und 3 Taf. I und Fig. 4 und 6

*) Die Abbildungen der Taf. I sind nach Photographien hergestellt, welche in der Anstalt vom Assistenten Krause mit dem Objectiv E von Zeiß aufgenommen wurden. Die Abbildungen der Taf. II sind nach Zeichnungen angefertigt, die vom Assistenten Wingendorf nach meinen Angaben bei einer 350fachen Vergrößerung gezeichnet worden sind. Es ist vermieden worden, Zahlenwerthe für die Dicke der Fasern anzugeben, weil dieselben durch diese Angaben doch nicht von einander getrennt werden können. Nähere Angaben über Faserdicken findet man in „Wiesner, Technische Mikroskopie."

**) Den Namen Holzstoff für Holzschliff sollte man besser vermeiden, da er als solcher angewendet ungenau und mit dem Vermerk „mechanisch zubereitet" versehen doch etwas umständlich ist.

Digitized by Google

Taf. II zeigen Reste solcher zertrümmerten Zellen), so kommen doch auch noch viele unverletzt im Papier vor, an denen man diese Tüpfelzeichnung (Taf. I Fig. 2 und Taf. II Fig. 1, 3, 5) sehr deutlich wahrnehmen kann. Neben diesen Holzzellen bestehen jedoch noch andere, die sich ebenso vorzüglich zur Erkennung des Holzschliffs eignen, nämlich die Markstrahlzellen, welche im Stamme von der Mitte aus sternförmig nach außen verlaufen und durch ihr gitterförmiges Gefüge sofort auffallen.

Fig. 3 Taf. I und Fig. 5 Taf. II zeigen derartige Markstrahlenzellen, wie sie über darunter liegende Holzzellen fortlaufen. Das Fig. 2 Taf. II dargestellte Bruchstück eines Tüpfelgefäßes ist seltener zu beobachten, da die Nadelhölzer nur in der Jugend Gefäße aufweisen. Hat man mit Hülfe des Mikroskopes Holzschliff nachgewiesen, so thut man stets gut, eine Probe des Papiers mit salzsaurer Phloroglucin- oder schwefelsaurer Anilinlösung zu bestreichen und so eine rothe beziehungsweise gelbe Färbung des Holzschliffs hervorzurufen. Die Intensität derselben gestattet eher einen Schluß auf die Menge des Holzschliffs als das mikroskopische Bild.

2. Jute.

Was man unter dem Namen Jute namentlich zur Herstellung von Packpapier, Zuckerpapier, Briefumschlagpapier, sogenanntem Manillapapier ꝛc. verwendet, sind die Bastzellen mehrerer ost- und westindischer Pflanzenarten (Corchorus olitorius, Corchorus capsularis, C. fuscus, C. decemangulatus u. a.), die sich in den letzten Jahrzehnten unter den Rohstoffen der Papierfabrikation wegen ihrer Festigkeit eine ziemlich bedeutende Stellung errungen haben. Sie lassen sich sehr schwer und wohl kaum vollkommen bleichen und finden deswegen für feine Papiere keine Verwendung.

Die charakteristische Eigenthümlichkeit der Bastfasern dieser Pflanzen ist die, daß die Wandstärken der Zellen ganz verschieden sind und oft im Bereich des mikroskopischen Bildes von einem Extrem ins andere übergehen. Zuweilen ist die Wand sehr dünn, dann wird sie mehr oder minder plötzlich dicker und verdickt sich oft so sehr, daß die Höhlung der Zelle bei einer 355fachen Vergrößerung nur noch als eine dünne Linie erscheint oder auch auf kurze Strecken vollständig verschwindet, um eine kurze Strecke weiter dieselben Wandlungen von Neuem durchzumachen. (Taf. I Fig. 4, Taf. II Fig. 7 und 8.)

Man muß indessen nicht erwarten, daß jede Zelle diese charakteristischen Merkmale so auffallend zeigt; an manchen sind sie sehr schwer aufzufinden, und man muß die Zelle erst weiter unter dem Mikroskop verfolgen, um eine Verschiedenheit der Wandstärken zu entdecken (Fig. 9 und 10 Taf. II).

Häufig kommt es vor, daß man die Intefasern noch zu ganzen Bündeln vereinigt in dem mikroskopischen Bilde erblickt (Fig. 5 Taf. I). Zur Erkennung des anatomischen Baues sind solche Bündel indessen wenig geeignet, weil meist eine Zelle die andere verdeckt. Stellenweise zeigen sich Poren und ganz ähnliche Verdickungen, wie wir sie später bei der Leinenfaser regelmäßig antreffen werden (Knoten) (Fig. 9 Taf. II); dieselben heben sich durch ihre in ein mehr oder weniger gelbes Braun übergehende Färbung deutlich ab.

II. Farblose Fasern.

1. Nadelholz-Cellulose.

Es gilt für den anatomischen Bau der Nadelholz-Cellulose natürlich im allgemeinen das vorher über den Holzschliff Gesagte, man erkennt sie an den behöften Poren oder Tüpfeln der Holzzellen. Jedoch ist zu bemerken, daß das Gefüge der Zellen in Folge des vorangegangenen chemischen Lösungs-Processes viel weniger deutlich hervortritt als beim Holzschliff. Häufig ist man nicht im Stande, die beiden concentrischen Kreise der Poren genau

Digitized by Google

wahrzunehmen, die Tüpfel erscheinen dann mehr wie kreisförmige bezw. elliptisch geformte helle Stellen auf den Zellhäuten (Fig. 6 h_2 Taf. I und Fig. 11 und 15 Taf II). Auch fehlen bei der Cellulose meist die charakteristischen Markstrahlzellen, die nur in sehr seltenen Fällen und auch dann nur höchst undeutlich zu erkennen sind. Neben diesen behöften Poren zeigt die Cellulose große einfache Poren (Fig. 6 h_1 Taf. I und Fig. 11 und 15 Tafel II), die im Gegensatz zu den ersteren durch den Kochproceß weit klarer sichtbar werden.

Bei schlecht zubereiteter Cellulose kommt es vielfach vor, daß die Fasern, die ja in Jodlösung farblos erscheinen sollen, eine ganz schwache gelblich-braune Färbung aufweisen. Die Ursache dieser stets nur unbedeutenden Färbung ist, daß man es in Folge mangelhafter Fabrikation nicht mit vollkommen reiner Cellulose, sondern mit Zellen zu thun hat, die noch, wenn auch in ganz geringem Maaße verholzt sind. Hat man diese Färbung einmal an Cellulose geringer Qualität beobachtet, so wird man bei der Prüfung von Papier nicht in Versuchung kommen, solche selten auftretende schwach gefärbte Fasern für etwas anderes als Cellulose zu halten. Es kann bei einem solchen Material, wenn man es mit Phloroglucin behandelt, vorkommen, daß man glaubt es mit Holzschliff zu thun zu haben, indem eine schwach rothe Färbung des Papiers auftritt.

Auf die Verschiedenheiten der von verschiedenen Nadelhölzern herrührenden Cellulose soll hier nicht näher eingegangen werden; ich verweise um so mehr auf das hierüber beim Holzschliff Gesagte, als die Untersuchungsmerkmale hier noch weit weniger deutlich hervortreten als dort.

Die meiste Cellulose dürfte wohl von der Fichte herrühren, die sich wegen ihres geringen Harzgehaltes am besten zur Fabrikation eignet.

Auf eine Eigenthümlichkeit der Cellulose sei noch besonders hingewiesen; es treten bei manchen Fasern Erscheinungen auf, wie sie der Baumwolle eigen sind, nämlich spiralförmige Windungen der Zelle (Fig. 15 Taf. II) und eine gitterförmige Streifung der Zellmembran (Fig. 12 Taf. II). Indessen schützt ja die braune Färbung der Baumwolle gegenüber der farblosen Cellulose vollkommen vor einer Verwechslung beider.

1a. Laubholzcellulose.

Die Fasern der Laubhölzer bieten nicht so charakteristische und leicht auffindbare Merkmale dar, wie die der Nadelhölzer. Die Holzzellen sind meist dünnwandig, die breiteren sparsam mit Poren versehen, die eine scharf begrenzte mandelförmige seltener rundliche Gestalt haben und zur Längsachse der Zelle schief gestellt sind.

Bemerkenswerth sind bei den Laubhölzern die zahlreichen röhrenartigen Gefäße, die einen größeren Porenreichthum aufweisen und zur Unterscheidung der einzelnen Holzarten einen Anhalt geben müssen.

a) Birkenholzcellulose.

Die Holzzellen der Birkencellulose, zu deren Herstellung meist Betula alba verwendet wird, sind oft sehr dünnwandig; die dickwandigen sind den Bastzellen des Strohs nicht unähnlich (Fig. 18 Taf. II), jedoch ist das Lumen bei den letzteren meist regelmäßiger; auch sind die Stellen, an denen eine Verengung des Lumens durch Verdickung der Wände eintritt, farblos, während sie beim Stroh röthlich-braun erscheinen. Die dünnwandigen Zellen tragen vielfach einfache mandelförmige Poren, deren Längsaxen theilweise parallel zur Zellrichtung verlaufen, zuweilen nehmen dieselben auch eine mehr oder weniger rundliche Gestalt an. Es kommen zuweilen Zellen vor, die sehr dicht mit Poren besetzt sind. (Siehe Fig. 16 Taf. II.) Die Enden der Zellen sind sehr mannigfaltig; theilweise sehr spitz (Fig. 7h_1 Taf. I), theilweise abgestumpft bis rund (Fig. 7h_2 Taf. I).

Digitized by Google

Die Gefäße, die theilweise noch vollständig und sehr schön erhalten im Papier vorkommen, sind mit einer großen Anzahl einfacher schlitzförmiger Poren versehen, die zur Längsachse des Gefäßes schief gestellt sind. Diese Poren sind zuweilen über das Gefäß ganz symmetrisch vertheilt, indem eine größere Anzahl von ihnen beisammen steht; weiterhin ist die Gefäßwand auf eine kurze Strecke nicht durchbrochen und diese Abwechslung wiederholt sich 4—5 Mal auf einem Gefäße (Fig. 17 Taf. II).

An den Enden sieht man die gitterförmig durchbrochenen Querwände der Gefäße sehr schön (Fig. 17 Taf. II und Fig. 7g Taf. I). Der Gefäßreichthum ist bei der Birke groß.

Die Birkencellulose giebt zwar ein sehr schön weißes, aber wenig festes und dehnbares Papier und wird wohl nur in Ländern hergestellt, wo es an anderen Holzarten, namentlich Nadelhölzern mangelt.

b) Pappelholzcellulose.

Zur Herstellung der Pappelholzcellulose dürfte vorzugsweise das Holz der Zitterpappel (Populus tremula) und der Weißpappel (P. alba) Verwendung finden. Unter den Laubhölzern liefern diese beiden Hölzer die zur Bereitung von Papier geeignetste Cellulose.

Ueber die Holzzellen der Pappel (Fig. 9 Taf. I) läßt sich kaum etwas Anderes sagen, als über die der Birke; sie sind einander zum Verwechseln ähnlich; die breiteren weisen hier nicht so viele und in der Regel kleinere Poren auf als bei der Birke. Schmale Zellen mit knotenförmigen Verdickungen (Fig. 20 Taf. II) kommen ziemlich häufig vor.

An Gefäßen ist die Pappel weit ärmer, als die Birke. Die Poren sind größer als bei der Birke und von einem fünf- bis sechseckig-rundlichen Hof umgeben; auch große einfache Poren sind in den Gefäßwänden vorhanden (Fig. 10—13 Taf. I und Fig. 19 und 22 Taf. II). Charakteristisch für die Gefäße sind die schwanzartigen Enden zu beiden Seiten, die oft eine beträchtliche Länge erreichen (Fig. 10, 11 und 13 Taf. I). Die gitterförmig durchbrochenen Querwände, die bei der Birke so charakteristisch hervortraten, fehlen hier ganz.

2. Strohcellulose.

Zur Herstellung von Strohcellulose wird das Stroh aller Getreidearten verarbeitet und es wird hauptsächlich von der Lage einer Strohstofffabrik abhängen, ob dieselbe mehr Roggenstroh, Weizenstroh oder andere Strohsorten verbraucht. Am meisten dürfte bei uns wohl Roggenstroh zur Verarbeitung kommen.

Es soll auch hier auf die Beschreibung der geringen anatomischen Unterschiede, welche die einzelnen Strohsorten im Bau der Epidermiszellen aufweisen, aus demselben Grunde wie bei der Holzcellulose, verzichtet werden; unser Urtheil über ein Papier, das Strohcellulose enthält, wird nicht wesentlich vervollkommnet, wenn wir erfahren, daß dieselbe z. B. dem Weizenstroh entstammt, da die Güte des Strohs wesentlich von den Witterungsverhältnissen während des Wachsens abhängt.

Aus einem mikroskopischen Bilde der Strohcellulose heben sich sofort die sehr charakteristisch geformten Zellen der Oberhaut deutlich hervor. Es sind dieses dickwandige, mehr oder weniger verkieselte Zellen, deren Ränder wellenförmig gebogen sind (Fig. 14e Taf. I und Fig. 37 und 39 Taf. II). Mit diesen wellenförmigen Ausrandungen schließen die Zellen dicht aneinander und in der Cellulose findet man noch zuweilen kleine Colonien solcher innig mit einander verbundenen Zellen, im fertigen Papier hingegen sehr selten. Diese Epidermiszellen kommen in den mannigfachsten Größen vor; das Verhältniß von Länge zur Breite wechselt von $^1/_1$ bis auf mehr als $^{10}/_1$. Auch die Ausrandungen haben

Digitized by Google

eine ganz verschiedene Gestalt; bald hat man tiefe Einbuchtungen (Fig. 37 Taf. II), bald nur schwache Wellenlinien (Fig. 41 Taf. II). Wenn nun auch diese Oberhautzellen ein leichtes Erkennen der Strohcellulose ermöglichen, so bilden sie doch nur einen geringen Theil aller aus dem Stroh stammenden Zellen; unter diesen herrschen die Bastzellen bei weitem vor. Diese dünnen langgestreckten Fasern sind von sehr regelmäßigem Bau. Sie sind von einem nach dem Ende zu sich verjüngenden schmalen Hohlkanal durchzogen (Fig. 14 Taf. I und Fig. 30—31 Taf. II). In ziemlich regelmäßigen Abständen zeigt die Wandung Verdickungen, die der Faser ein knotenartiges Aussehen geben. Die Verstärkungen erstrecken sich meist nach dem Innern der Zelle, so daß das Lumen derselben an diesen Stellen eng zusammengeschnürt erscheint, um sich hinter der Verdickung sogleich wieder zu erweitern. Diese verdickten Stellen fallen dem Beobachter durch eine schwach röthlich-braune Färbung, die sich von der ganz farblosen oder auch bei nicht gut gekochtem Strohstoff schwach bläulichen Zelle sehr deutlich abhebt, sofort auf.

Auch weisen die Bastzellen zahlreiche Poren auf, die als dunkle Linien von der Höhle aus nach der Peripherie verlaufen.

Neben diesen beiden Arten von Zellen, den Oberhaut- und Bastzellen, finden wir beim Stroh eine große Anzahl sehr dünnwandiger Parenchymzellen (Fig. 35 und 36 Taf. II); dieselben sind an beiden Enden abgerundet, zuweilen fast kreisförmig, zuweilen sehr langgestreckt, mehr oder weniger mit einfachen Poren versehen und deswegen von größter Wichtigkeit für die Untersuchung, weil sie uns, wie wir später sehen werden, ein sicheres Mittel in die Hand geben, die Strohcellulose vom Alfastoff zu unterscheiden.

In untergeordnetem Maßstabe treten ferner die Gefäße auf, die bei der Ernährung der Pflanze eine wichtige Rolle spielen.

Vielfach unverletzt trifft man die Netzgefäße an, dünnwandige, röhrenförmige Zellen, deren Wände mit sehr zahlreichen rundlichen oder schlitzförmigen Poren durchsetzt sind (Fig. 15 Taf. I und Fig. 42 Taf. II).

Spiralgefäße im unversehrten Zustande (Fig. 34 Taf. II) sind sehr selten; meist sind die Spiralen durch die Bearbeitung auseinandergezogen und finden sich als wurmartige Gebilde im Präparate (Fig. 32 Taf. II). Dasselbe gilt von den Ringgefäßen; die Ringe sind meist aus den Gefäßen herausgetreten und zeigen sich dem Beobachter als solche (Fig. 33 Taf. II). Zu erwähnen sind ferner noch die Sklerenchymelemente, sehr stark verdickte und verkieselte Zellen, die fast immer einen schwachen bläulichen Schein aufweisen (Fig. 38 und 40 Taf. II); die Ursache der Färbung ist wohl die, daß in Folge der starken Verdickung die Kochlauge nicht im Stande ist, die Cellulose vollständig von den anderen sie begleitenden organischen Verbindungen zu befreien.

3. Alfa-(Esparto)-Cellulose.

Die zu den Gramineen gehörigen beiden Species: Lygaeum Spartum und Stipa tenacissima, zwei in Spanien und namentlich Nordafrika in großen Mengen vorkommende Pflanzen, bilden das Rohmaterial für die Alfa- oder Espartocellulose, die der Strohcellulose sehr nahe steht, bei uns indessen nur in sehr beschränktem Maße Verwendung findet. Der Bau der Zellen ist dem bei der Strohcellulose besprochenen sehr ähnlich und es dürfte nicht immer möglich sein, zu entscheiden, ob z. B. eine im Papier vorgefundene Epidermiszelle von Stroh oder Espartogras herrührt.

Im Allgemeinen ist der Bau der Alfazellen zierlicher und die Dimensionen der Zellen sind geringer als beim Stroh; jedoch ist es nicht möglich, hierauf eine sichere Unterscheidung zu gründen.

Digitized by Google

Die Baſtzellen (Fig. 16 b Taf. I und Fig. 43 und 49 Taf. II) ſind im Gegenſatz zu denen des Strohs außerordentlich kurz und häufig in ihrer ganzen Länge im mikroskopiſchen Geſichtsfelde zu beobachten. Sie ſind ſehr regelmäßig gebaut und haben ſtark verdickte Zellwände, ſo daß das Lumen oft nur als eine Linie erſcheint. Unregelmäßigkeiten im Verlauf der Höhlung, wie wir ſie beim Stroh kennen gelernt haben, ſind beim Alfa nicht zu bemerken.

Von den Epidermiszellen (Fig. 16 e Taf. I und Fig. 47 und 48 Taf. II) läßt ſich im Weſentlichen nichts Anderes ſagen, als von denen des Strohs; es iſt von verſchiedenen Seiten auf die angeblichen Größenunterſchiede und verſchiedenartig ſcharfe Ausrandung der Oberhautzellen ein Unterſcheidungsverſuch aufgebaut worden, der indeſſen kaum haltbar ſein dürfte; es ſollen nach demſelben die Epidermiszellen beim Alfa kleiner und tiefer ausgerandet ſein als beim Stroh. Die zahlreichen Unterſuchungen, die in der Verſuchsanſtalt bereits ausgeführt ſind, haben jedoch gezeigt, daß die Strohcelluloſe neben größeren Oberhautzellen auch kleine und ſehr tief ausgerandete aufweiſt, die man nach dem obigen Grundſatz als von Alfa herrührend bezeichnen müßte.

Die Zähnchen hingegen (Fig. 16 z Taf. I und Fig. 45 Taf. II), die von den Blättern der Rohpflanzen herrühren, geben ein recht gutes und ins Auge fallendes Unterſcheidungsmerkmal ab. Dieſelben finden ſich in Alfapapieren in ziemlicher Menge und in mannigfachſter Form vor, bald kurz und gedrungen, bald lang und ſpitzig, oder hakenförmig umgebogen.

Die großen dünnwandigen Parenchymzellen des Strohs fehlen beim Alfaſtoff vollſtändig, und ſo liefern denn die Zähnchen des Alfaſtoffes und die großen Parenchymzellen des Strohs ein Mittel, das letztere vom erſteren zu unterſcheiden.

Die auch beim Alfaſtoff vorkommenden Sklerenchymelemente (Fig. 16 s Taf. I und Fig. 44 und 46 Taf. II) ſind ähnlich wie beim Stroh.

III. Braungefärbte Faſern.

Bevor auf eine Beſchreibung der hierher gehörigen Faſern eingegangen wird, ſoll auf eine Erſcheinung aufmerkſam gemacht werden, die den ungübten Mikroskopiker bei Unterſuchung von reinen Lumpenpapieren leicht ſtutzig machen könnte, nämlich das Auftreten ungefärbter Faſertheilchen in dieſer Abtheilung. Es werden vielfach ſehr dünne Lamellen bei der Zubereitung des Papiers von den Faſern abgeriſſen, die dann nicht mehr im Stande ſind, die Jodlöſung aufzunehmen und in Folge deſſen farblos erſcheinen. Der Neuling könnte dieſe Häutchen für Celluloſe halten, wenn er ſich mit der Feſtſtellung der Farbloſigkeit derſelben begnügte; würde er aber nach den charakteriſtiſchen Merkmalen der Celluloſe ſuchen, ſo würde er aus dem gänzlichen Fehlen derſelben den Schluß ziehen müſſen, daß hier keine Celluloſe vorliegt. Man kann dieſe Erſcheinung ſehr ſchön bei den Häutchen beobachten, die noch mit der Faſer zuſammenhängen.

1. Baumwolle.

Mit dem Namen Baumwolle bezeichnen wir die Samenfäden einiger in den heißen Zonen beſonders cultivirter Goſſypiumarten (G. indicum, G. barbadense, G. arboreum ꝛc.). Dieſe Fäden ſind bis zu 5 cm lang, kegelförmig ſich nach dem Ende zu verjüngend, einzellig und ohne Querwände. Die Enden ſind ſtumpf bis rundlich, werden aber im Papier ſelten angetroffen. Die Zelle iſt einem Schlauche ähnlich, deſſen Höhlung etwa $^2/_3$ des ganzen Durchmeſſers ausmacht. Trocknen dieſe Samenſchläuche nun aus, ſo klappen die Wände, da ſie wegen ihres ſchwachen Baues dem Luftdruck nicht widerſtehen können, aufeinander, und

Digitized by Google

die naturgemäß gleichzeitig auftretenden Spannungen der Wandung veranlassen eine spiralförmige Drehung der Zelle, eine Erscheinung, die zum leichten Erkennen der Baumwolle wesentlich beiträgt. Fig. 26 und 27 Taf. II giebt ein Bild der rohen Baumwollfaser, an welcher diese Drehung sehr deutlich zu beobachten ist.

Bei den aus dem Papier stammenden Baumwollfasern oder Fasertheilchen tritt die Erscheinung seltener und weniger deutlich auf, da man es immer nur mit verhältnißmäßig kurzen Enden zu thun hat. Außerdem hebt das Kochen des Papiers in Natronlauge die Bedingungen der spiralförmigen Drehung nahezu wieder auf, so daß ein Umklappen der Fasern, wie es aus Fig. 17 Tafel I zu ersehen ist, hier wohl auf mehr mechanische Ursachen zurückzuführen sein dürfte. Bei Besprechung der Holzcellulose wurde schon ganz dieselbe Erscheinung erwähnt (Fig. 15 Taf. II).

Indessen ist die Baumwolle auch ohne diese spiralförmigen Windungen mit keiner der noch folgenden Lumpenfasern zu verwechseln. Zunächst fehlen der Faser sowohl die den Bastfasern eigenthümlichen Poren, feine Canäle, die von der Zellhöhle aus durch die ganze Wand nach außen verlaufen, als auch die zahlreichen knotenartigen Auftreibungen. Ferner trägt die Zellwand vielfach eine höchst charakteristische Streifung, die der ganzen Zelle eine spiralförmige oder gitterförmige Zeichnung aufprägt. Allerdings kommen auch, wie schon früher erwähnt, bei der Nadelholzcellulose derartig gitterförmig gezeichnete Zellen vor (Fig. 12 Taf. II), indessen ist eine Verwechslung mit dieser wegen ihrer Farblosigkeit ausgeschlossen.

Die eigentliche Streifung in Verbindung mit dem weiten Lumen der Zelle und das Fehlen von Poren und Knötchen, wie sie den folgenden beiden Faserarten eigenthümlich sind, bilden demnach sichere Anhaltspunkte zur Erkennung der Baumwolle. Zudem hat sie von den zu besprechenden Lumpenfasern den größten Durchmesser und erscheint durch die Jodlösung meist etwas dunkler gefärbt, als die Leinen- und Hanffaser.

Es kommt zuweilen vor, daß durch Drehen oder Zusammendrücken der Faser der Hohlkanal so eng wird, daß er nur als dunkle Linie erscheint (Fig. 25 Taf. II); man hüte sich also davor, in solchen Fällen die Faser mit der Leinenfaser zu verwechseln.

2. Leinen.

Die Bastzellen der Flachspflanze (Linum usitatissimum) liefern der Papier-Industrie den vornehmsten, allerdings auch theuersten Rohstoff, aus denen unsere feinsten Papiere hergestellt werden. Diese Bastzellen, welche in der Pflanze unmittelbar unter der Epidermis liegen, sind bis zu 4 cm lang, etwa halb so dick wie die der Baumwolle, sehr regelmäßig gebaut und spitz auslaufend. Allerdings wird man die natürlichen Enden der Faser sehr selten bei der Untersuchung beobachten, da dieselben durch den Fabrikationsproceß meist so beschädigt werden, daß ihr Erkennen nicht mehr möglich ist.

Charakteristisch sind für die Leinenfasern die sich oft in sehr kurzen Entfernungen wiederholenden Verdickungen der Wand, welche die Faser knotenartig auftreiben (Fig. 18 Taf. I und Fig. 51—53 Taf. II). Bei sehr starker Verdickung werden dieselben durch den Fabrikationsproceß häufig breitgepreßt (Fig. 52 Taf. II), eine Erscheinung, die in manchen Fällen bis zum vollständigen Bruch der Fasern an der verdickten Stelle führen kann.

Neben diesen Knoten ist der enge Hohlkanal der Zelle für die Erkennung derselben von größter Wichtigkeit. Da die Wände sehr stark sind, so ist das Lumen meist nur als dunkle Linie zu beobachten. Dabei sind Zellen, bei denen man diesen Hohlkanal von Anfang bis zum Ende verfolgen könnte, nicht sehr häufig. Bei vielen, namentlich den schwächeren Fasern, sieht man mit der früher angegebenen Vergrößerung das Lumen überhaupt nicht; bei anderen erscheint es auf einer kurzen Strecke, wird dann so eng, daß es

Digitized by Google

dem Beobachter entschwindet und kommt eine kurze Strecke weiter mit großer Deutlichkeit wieder zum Vorschein.

Zugleich ist die Wand der Zelle mit zahlreichen Poren durchsetzt, die von dem Innern aus nach der Peripherie zu verlaufen und als dunkle Linien erscheinen (Fig. 51 Taf. II).

Die Gestaltsveränderungen, welche die Fasern zuweilen im Laufe der Fabrikation namentlich durch den Druck der Walzen ꝛc. erleiden, können leicht zu Irrthümern Veranlassung geben. So zeigt Fig. 54 Taf. II einen Theil einer Leinenfaser, bei der durch Breitdrücken der Faser deren Hohlkanal sich vergrößert hat, so daß man glauben könnte, man hätte es mit einer Baumwollenfaser zu thun.

Noch mehr fällt diese Erscheinung bei Fig. 56 Taf. II in's Auge, indem bei dieser noch ein wiederholtes Umschlagen der Faser hinzukommt, um den Beobachter irrezuleiten. Wären nicht an dem wohlerhaltenen Theil dieser Zellen Poren und Knoten vorhanden, die ja bekanntlich der Baumwollenfaser vollständig fehlen, so würde man sehr im Zweifel sein, ob man sich in Bezug auf den Ursprung der Faser für Leinen oder Baumwolle entscheiden sollte.

Die Enden der Fasern sind oft sehr fein und lang ausgefasert (Fig. 52 Taf. II), eine Eigenthümlichkeit, die aber nicht nur, wie oft angegeben wird, dem Flachs allein eigen ist, sondern auch den anderen Bastfasern. Auch bei Cellulose kommen zuweilen derartige Erscheinungen vor (Fig. 9 Taf. I) und bei Besprechung des Hanfes werden wir derselben wieder begegnen.

3. Hanf.

Die Bastfasern des Hanfes (Cannabis sativa) sind von den bei uns verwendeten Papierrohstoffen im Allgemeinen die kräftigsten und eignen sich deshalb vorzüglich zu Papieren, von denen eine große Festigkeit verlangt wird, wie Urkunden, Banknoten ꝛc.

Der anatomische Bau der Hanffaser ist dem des Flachses ungemein ähnlich und es ist eine der schwierigsten Aufgaben der mikroskopischen Papierprüfung, diese beiden Faserarten zu unterscheiden, ein Versuch, der in manchen Fällen zur Unmöglichkeit wird. Es treten dieselben knotenartigen Auftreibungen auf wie beim Flachs (Fig. 19 Taf. I und Fig. 62 Taf. II) dieselben zerquetschten Knoten (Fig. 59 Taf. II) und dieselben ausgefaserten Enden (Fig. 57 Taf. II). Nur der Hohlkanal ist etwas weiter, als der der Leinenzelle, etwa $^1/_4$—$^1/_2$ des Zelldurchmessers und ferner ist die Zellmembran der Länge nach sehr stark gestreift. Es dürften dieses wohl die einzig stichhaltigen anatomischen Unterschiede zwischen Hanf- und Leinenfasern sein. Indessen kommen auch Fälle vor, daß Leinenzellen durch Pressung ein Aussehen annehmen, das dem des Hanfes zum Verwechseln ähnlich ist, indem die Zellhöhle sich durch den Druck verbreitert und die ursprünglich kaum oder nicht sichtbare Längsstreifung sehr deutlich hervortritt. Auf diese Weise kann dem gewiegtesten Mikroskopiker eine Verwechslung der beiden Fasern unterlaufen, und ich kann mich nur den Worten des Dr. Schacht anschließen:

„Mit Sicherheit möchte ich deshalb nicht entscheiden, ob ein Hanfpapier ganz aus Hanf besteht, oder ob es Leinen beigemischt enthält."

Zum Schluß möchte ich noch einige Bemerkungen über die Dauerpräparate hinzufügen:

Es ist gewiß der berechtigte Wunsch eines jeden Mikroskopikers, bei der Untersuchung gute Präparate reinen Materials zur Hand zu haben, um dieselben jeder Zeit zum Vergleiche benutzen zu können. Namentlich für denjenigen sind solche von Werth, der nicht dauernd mit dem Mikroskop arbeitet und dem in Folge dessen einmal gewonnene Bilder bald wieder aus dem Gedächtniß entschwinden und der so geradezu gezwungen ist, aus dem Vergleich mit bekannten Objecten seine Schlüsse zu ziehen.

Digitized by Google

Leider sind bis jetzt für die mikroskopische Papierprüfung derartige Präparate, die für eine Vergleichung wirklich werthvoll wären, nicht geschaffen worden, und es ist fraglich, ob sie überhaupt in zufriedenstellender Weise geschaffen werden können. Die Gelatine oder andere ähnliche Einbettmassen, welche zum Präpariren der Fasern dienen, nehmen den durch die Jodlösung gefärbten Fasern diese Färbung und damit einen sicheren Anhaltspunkt für ihre Unterscheidung, so daß es rathsam sein möchte, solche ungefärbte Präparate, die doch nur zu Irrthümern Anlaß geben würden, ganz zu vermeiden. Dauerpräparate dieser Art, die für Papierprüfung mit Unrecht und leider oft ohne Kritik warm empfohlen werden, haben außerdem noch den Nachtheil, daß die Fasern zum großen Theil nicht aus Papier, sondern aus dem unverarbeiteten Rohmaterial entnommen sind. Daß aber die Fasern vor der Einwirkung der mechanischen Zerstörungsprocesse und der chemischen Reagentien ein anderes Bild abgeben, als nach derselben, braucht nach dem Vorgesagten wohl nicht erst besonders erwähnt zu werden.*)

Um nun die besprochene Lücke einigermaßen auszufüllen, verfahre man in folgender Weise: Man koche eine geringe Menge verbürgt reinen Hanf-, Leinen-, Baumwolle- ꝛc. Papiers in der oben näher angegebenen Weise mit Natronlauge und bereite sich aus demselben einen ganz dünnen und gleichmäßigen Brei. Einen jeden solchen Brei bringt man in eine gut verschließbare Flasche. Eine Sammlung derartig vorbereiteter Papierfasern ist ein für einen weniger Geübten gar nicht zu entbehrendes Hülfsmittel für die Untersuchung, und selbst der mit dem Bau der Fasern hinlänglich Vertraute wird in schwierigen Fällen gern seine Zuflucht zu ihnen nehmen. Sie sollten daher auch stets den für Papierprüfung zusammengestellten Mikroskopen beigegeben werden.

Allerdings ist nicht zu verkennen, daß es sehr große Schwierigkeit macht, Papiere zu erhalten, die wirklich nur aus einem einzigen Rohstoff bestehen; meist finden sich auch bei der sorgfältigsten Auswahl der Rohstoffe und der saubersten Verarbeitung derselben geringe Beimengungen anderer Stoffe, die den Beobachter leicht irreführen können. Besonders hüte man sich aber, aus der Bezeichnung eines Papiers einen Schluß auf die zur Herstellung verwendeten Fasern zu ziehen und etwa zu glauben, daß Hanfpapier aus Hanf, Manillapapier aus Manillahanf ꝛc. bestehen müsse. Derartige Bezeichnungen stehen oft mit dem Papierrohstoff in gar keiner Beziehung und verdanken lediglich dem geschäftlichen Verkehr ihre Entstehung.

*) Aehnliche Umstände waren auch die Veranlassung, weswegen die Abbildungen zu dieser Arbeit als Zeichnungen und als Photographien veröffentlicht worden sind. Der Zeichner kann leicht das besonders Charakteristische einer Faser getrennt von dem Nebensächlichen wiedergeben, während die Photographie das Bild nahezu in der Weise und mit allem Beiwerk wiedergiebt, wie das Mikroskop es dem Auge bietet. Durch die Beigabe beider Arten von Abbildungen wird die Vergleichung demjenigen erleichtert werden, der nicht berufsmäßig sich mit der mikroskopischen Untersuchung im Papier beschäftigt.

Digitized by Google

Ergebnisse der Prüfungen von Apparaten zur Untersuchung der Festigkeitseigenschaften von Papier.

Vom Vorsteher der mechanisch-technischen Versuchs-Anstalt A. Martens.

Der Seite 1 des Jahrgangs 1887 der „Mittheilungen" veröffentlichte Erlaß der Königlichen Kommission zur Beaufsichtigung der technischen Versuchsanstalten vom 23. December 1886 betreffend die amtliche Untersuchung von Papierprüfungsapparaten hat bereits Veranlassung zur Prüfung dreier Apparate verschiedener Konstruktion gegeben.

Von diesen Apparaten ist einer nach der Hartig-Reusch'schen Form, hergestellt vom Mechaniker Oskar Leuner in Dresden, auf Antrag der Firma Brückner & Co. Papierfabrik in Calbe a. S., der zweite vom Mechaniker Rehse, Berlin, nach eigener Konstruktion, auf Antrag des Verfertigers, und der dritte nach Wendlers Konstruktion von Fromme & Kroseberg, Berlin, geliefert, auf Antrag des Konstrukteurs amtlich geprüft worden. Ueber diese Untersuchungen wurde jeweils eine Prüfungsbescheinigung*) ausgestellt, deren allgemeine Form durch den oben erwähnten Erlaß der Königlichen Kommission genehmigt und in Nachstehendem mit Rücksicht auf die Anmerkung auf Seite 1 für den Hartig-Reusch'schen Apparat unter Kürzung des Tabelleninhaltes wiedergegeben ist, und zwar so, daß die Tabellen nur für eine Feder in vollem Umfange mitgetheilt sind. Für die andern Federn sind aus den sonst ganz gleichartigen Tabellen nur die Endergebnisse abgedruckt, soweit sie für die Beurtheilung der Güte des Apparates von Werth sein können. Bemerkungen, welche nicht zur Prüfungsbescheinigung gehören, aber zur näheren Erklärung nothwendig sein dürften, sind mit kleineren Buchstaben gedruckt.

1. Apparat nach Hartig-Reusch.

Die Herren Brückner & Co. in Calbe a. S. beantragten am 18. September 1886 die Prüfung eines Apparates zur Bestimmung der Festigkeitseigenschaften von Papier.

Der Apparat wurde, in einer Kiste, gez. G. 10033, verpackt, am 24. December 1886 von Herrn Oskar Leuner in Dresden an die Königliche mechanisch-technische Versuchs-Anstalt eingereicht und in der Zeit vom 5. bis zum 15. Januar 1887 unter A 656 geprüft, wobei die nachstehend verzeichneten Ergebnisse gefunden wurden.

A. Beschreibung des Apparates.

Eine ausführliche Beschreibung des Apparates ist in den „Mittheilungen aus den technischen Versuchsanstalten", Jahrg. 1885, S. 3, 47 und 103, Tafel I. gegeben.**)

Die wesentlichen Bestandtheile sind:

a) Der Antrieb, erfolgt durch eine mittelst Handrad bewegte Schraube.

b) Die Kraftmessung, geschieht durch 3 Spiralfedern, und zwar ist bestimmt: Feder Nr. 1 für 6 kg Kraftleistung, Feder Nr. 2 für 9 kg Kraftleistung, Feder Nr. 3 für 20 kg Kraftleistung.

c) Die Kraftaufzeichnung, erfolgt selbstthätig durch eine Schreibvorrichtung unter Uebersetzung der Federdehnungen in eine senkrechte Bewegung des Zeichenstiftes.

d) Die Dehnungsaufzeichnung, geschieht durch die gleiche Schreibvorrichtung unter Uebertragung der gegenseitigen Verschiebung der Klemmen als wagerechte Bewegung des Zeichenstiftes.

e) Die Diagrammausmessung, geschieht mit Hülfe von Kräfte-Maßstäben, von denen je einer für jede Feder angefertigt ist, und eines Dehnungsmaßstabes, der Procente der normalen ursprünglichen Streifenlänge von 180 mm angiebt.

*) Die Ausfertigung hat äußerlich die Form der gewöhnlichen amtlichen Prüfungsbescheinigungen.

**) Diejenigen Leser, denen die Konstruktion nicht geläufig sein sollte und welche im Nachstehenden demgemäß Lücken finden würden, wollen die angezogenen Stellen nachschlagen.

Digitized by Google

B. Umfang der Prüfungen.

Der Prüfung haben folgende Haupttheile der Maschine unterlegen:

a) Der Kontrolhebel in Bezug auf seine Richtigkeit.
b) Die 3 Federn in Bezug auf ihre Dehnbarkeit und Kraftäußerung.
c) Die Kraftmaßstäbe in Bezug auf ihre Richtigkeit.
d) Der Dehnungsmaßstab in Bezug auf seine Richtigkeit.
e) Die Einspannvorrichtung in Bezug auf die Vollkommenheit ihrer Wirkung.
f) Der Selbstzeichner in Bezug auf die Uebertragungsverhältnisse.
g) Die mechanische Ausführung des gesammten Apparates, insofern als Mängel desselben Einfluß auf die Richtigkeit und Zuverlässigkeit der Versuchsergebnisse üben können.

C. Versuchsausführung.

Bei der Ausführung der Prüfungen sind alle diejenigen Vorsichtsmaßregeln angewendet, welche bei der Untersuchung der gleichen Maschinen der Versuchs-Anstalt beachtet werden und über welche in den „Mittheilungen aus den technischen Versuchs-Anstalten", Jahrg. 1885, S. 3 u. f. die nöthigen Angaben gemacht sind. Abweichungen oder Ergänzungen haben bei der gegenwärtigen Prüfung nur insoweit stattgefunden, als sie im Nachstehenden ausdrücklich erwähnt sind.

Die hier niedergeschriebenen Prüfungsergebnisse können sich selbstverständlich nur auf denjenigen Zustand des Apparates beziehen, in welchem derselbe sich bei der Prüfung in der Versuchs-Anstalt befand. Es wird ganz ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht, daß der Apparat stets in dem gleichen guten Zustande erhalten werden muß, und ferner, daß stets die gleiche Sorgfalt bei der Versuchsausführung anzuwenden ist wie in der Versuchs-Anstalt, wenn man mit den amtlichen Prüfungen vergleichbare Versuchsergebnisse erhalten will.

D. Versuchsergebnisse.

a) Untersuchung des Kontrolhebels.

Die Prüfung des Kontrolhebels hat ergeben, daß der maßgebende Winkel ein Rechter ist, sowie daß der wagerechte Hebelarm 81,81 mm, der senkrechte Hebelarm hingegen 81,91 mm mittlere Länge besitzt. Demgemäß ist das Hebelübersetzungsverhältniß $h = 81{,}91/81{,}81 = 1{,}00122$. Der hierdurch entstehende Fehler von 0,12 % kann für den praktischen Gebrauch vernachlässigt und der Kontrolhebel für die ferneren Prüfungen der Unveränderlichkeit der Federn ohne Weiteres benutzt werden.

b) Untersuchung der 3 Federn auf Dehnbarkeit.

Die Prüfung hat unter Benutzung des zum Apparat gehörigen Kontrolhebels stattgefunden. Zur Kraftmessung hat ein Satz geaichter Präzisionsgewichte gedient. Die Original-Diagramme und Versuchsprotokolle werden 5 Jahre zur Einsichtnahme in der Versuchsanstalt aufbewahrt.

In den nachstehenden Tabellen sind die Mittelwerthe der Differenzen für die Federdehnungen stets nur innerhalb desjenigen Theiles der Belastung ermittelt, innerhalb dessen sich diese Differenzen als zuverlässig gleichwerthig erwiesen haben. Die Berechnung beziehentlich der Vergleich der Federmaßstäbe bezieht sich nur auf diesen Theil der Federleistung, und als zulässige Grenzen für die Inanspruchnahme der Federn bei der späteren Benutzung des Apparates werden am Fuß der einzelnen Tabellen ausschließlich die diesem Theil entsprechenden Belastungsgrenzen angegeben.

Für jede Federuntersuchung sind 5 vollständige Versuchsreihen ausgeführt, wobei inzwischen die Feder nicht aus dem Apparat entfernt worden ist.

Die Federprüfungen ergaben die in den Tab. A 1—3 niedergelegten Werthe.*)

Um sich von dem unveränderten Zustande der Feder stets durch den Augenschein überzeugen zu können, ist über jede Einklemmstelle der Feder und über diese letztere selbst ein feiner Feilstrich gezogen worden. Die Zahl der Federwindungen ist zwischen diesen beiden Marken festgestellt.

Beim Gebrauch soll sich stets der auf der Federbrücke angebrachte weiße Punkt neben dem gleichen Punkt an der Brücke der Antriebsschraube befinden.

*) Nur Tab. A. 1 ist (Seite 15) vollständig abgedruckt.

Digitized by Google

Tabelle A. I.

Feder Nr. I für angeblich 6 kg größte Kraftleistung.

Drahtdicke 4,4 mm; Durchmesser der Spirale im spannungslosen Zustande 86 mm; Zahl der Windungen bis zu den in der Versuchs-Anstalt eingefeilten Marken an den Einklemmstellen der Brücken: 8½.

Angehängte Gewichte	Dehnungen in Millimetern bei Belastung und Entlastung der Feder																					
	Versuchsreihe 1				Versuchsreihe 2				Versuchsreihe 3				Versuchsreihe 4				Versuchsreihe 5					
	Belastung			Entlastung			Belastung			Entlastung			Belastung			Entlastung			Belastung		Entlastung	
	Dehnungen			Dehnungen			Dehnungen			Dehnungen			Dehnungen			Dehnungen			Dehnungen		Dehnungen	
	Gesammt	Differenz	Abweichung vom Mittel	Gesammt	Differenz	Abweichung vom Mittel	Gesammt	Differenz	Abweichung vom Mittel	Gesammt	Differenz	Abweichung vom Mittel	Gesammt	Differenz	Abweichung vom Mittel	Gesammt	Differenz	Abweichung vom Mittel	Gesammt	Differenz	Abweichung vom Mittel	Gesammt	Differenz	Abweichung vom Mittel
kg	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
0,0	0,0			0,4			0,0			0,4			0,0			0,0			0,3		0,0			0,1	
0,5	—	—		6,8	6,4		6,3	6,3		6,9	6,5		6,1	6,1		6,6	6,6		6,5	6,5	6,7	6,4	6,2	6,2	6,7	6,6	
1,0	13,2	—		13,8	7,0		13,6	7,3		14,1	7,2		13,2	7,1		13,8	7,2		13,6	7,1	13,9	7,2	13,4	7,2	13,7	7,0	
1,5	—	—		21,4	7,6	+0,03	20,9	7,3	−0,31	21,6	7,5	−0,08	20,6	7,4	−0,22	21,3	7,5	−0,06	20,9	7,3	−0,30	21,4	7,5	−0,07	20,6	7,2	−0,41	21,3	7,6	+0,02
2,0	28,3	15,1		29,2	7,8	+0,23	28,6	7,7	+0,09	29,2	7,6	+0,02	28,2	7,6	−0,02	28,8	7,5	−0,06	28,7	7,8	+0,20	28,9	7,5	−0,07	28,4	7,8	+0,15	28,9	7,6	+0,02
2,5	35,8	7,5	−0,13	37,1	7,9	+0,32	36,2	7,6	−0,01	37,0	7,8	+0,22	36,0	7,8	+0,15	36,7	7,9	+0,24	36,2	7,5	−0,10	36,7	7,8	+0,23	35,9	7,5	−0,11	36,6	7,7	+0,12
3,0	43,6	7,8	+0,17	44,6	7,5	−0,07	43,8	7,6	−0,01	44,4	7,4	−0,18	43,6	7,6	−0,02	44,2	7,5	−0,06	43,9	7,7	+0,10	44,4	7,7	+0,13	43,6	7,7	+0,09	44,3	7,7	+0,12
3,5	51,4	7,8	+0,17	52,4	7,8	+0,23	51,5	7,7	+0,09	52,3	7,9	+0,32	51,3	7,7	+0,08	52,1	7,9	+0,24	51,6	7,7	+0,10	52,2	7,8	+0,23	51,3	7,7	+0,07	51,8	7,5	−0,08
4,0	59,0	7,6	−0,03	60,0	7,6	−0,03	59,3	7,8	+0,19	60,0	7,7	+0,12	58,9	7,6	−0,02	59,6	7,5	−0,06	59,2	7,6	0,00	59,7	7,5	−0,07	58,9	7,6	−0,01	59,7	7,9	+0,32
4,5	66,5	7,5	−0,13	67,4	7,4	−0,17	66,7	7,4	−0,21	67,5	7,5	−0,08	66,4	7,5	−0,12	67,2	7,6	+0,01	66,8	7,6	+0,08	67,3	7,6	+0,03	66,6	7,7	+0,02	67,2	7,5	−0,08
5,0	73,8	7,3	−0,33	75,1	7,7	+0,13	74,4	7,7	+0,09	75,0	7,5	−0,08	74,0	7,6	−0,02	74,5	7,3	−0,26	74,1	7,6	0,00	74,8	7,5	−0,07	74,2	7,6	−0,01	74,7	7,5	−0,08
5,5	81,7	7,9	+0,27	82,5	7,4	−0,17	81,9	7,5	+0,11	82,4	7,4	−0,18	81,7	7,7	+0,08	82,2	7,7	+0,11	81,9	7,5	0,10	82,3	7,5	−0,07	81,8	7,6	−0,01	81,9	7,2	−0,38
6,0	89,3	7,6	−0,03	89,5	7,0	−0,57	89,7	7,8	−0,19	89,9	7,5	+0,08	89,4	7,7	+0,08	89,4	7,2	−0,26	89,6	7,7	+0,10	89,6	7,3	−0,27	89,5	7,7	+0,09	89,5	7,6	+0,02
Gesammt-Summe	76,1			89,1			89,7			89,5			89,4			89,4			89,6		89,3		89,5			89,4		
Summe zur Mittelbildung	61,0			75,7			76,1			75,8			76,2			75,6			76,0		75,7		76,1			75,8		
Mittel	7,63			7,57			7,61			7,58			7,62			7,56			7,60		7,57		7,61			7,58		

Hauptmittel aus allen 5 Versuchsreihen:
a) für die Belastung = 7,614 mm,
b) für die Entlastung = 7,572 mm,
c) Mittel aus **a und b = 7,593 mm** für 0,5 kg Belastung.

Für die spätere Benutzung der Feder ergeben sich als zulässige Grenzen für die Inanspruchnahme:
a) geringste Belastung = 1 kg,
b) größte Belastung = 6 kg.

Digitized by Google

Tabelle B. 1.

Feder Nr. 1 für 6 kg größte Belastung.

a	b	Versuchsreihe 1				Versuchsreihe 2				Versuchsreihe 3				Versuchsreihe 4				Versuchsreihe 5			
		Belastung		Entlastung		Belastung		Entlastung		Belastung		Entlastung		Belastung		Entlastung		Belastung		Entlastung	
Maßstabpunkt	Zugehörige Ablesung am ermittelten Maßstab	Ablesungen aus Tabelle A. 1	Differenz gegen b	Ablesungen aus Tabelle A. 1	Differenz gegen b	Ablesungen aus Tabelle A. 1	Differenz gegen b	Ablesungen aus Tabelle A. 1	Differenz gegen b	Ablesungen aus Tabelle A. 1	Differenz gegen b	Ablesungen aus Tabelle A. 1	Differenz gegen b	Ablesungen aus Tabelle A. 1	Differenz gegen b	Ablesungen aus Tabelle A. 1	Differenz gegen b	Ablesungen aus Tabelle A. 1	Differenz gegen b	Ablesungen aus Tabelle A. 1	Differenz gegen b
kg	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1,0	0,00	13,2	13,20	13,8	13,80	13,6	13,60	14,1	14,10	13,2	13,20	13,8	13,80	13,6	13,60	13,9	13,90	13,4	13 40	13,7	13,70
1,5	7,59	—	—	21,4	13,31	20 9	13,31	21,6	13,01	20,6	13,01	21,3	13,71	20,9	13,31	21,4	13,81	20,6	13,01	21,3	13,71
2,0	15,19	28,3	13,11	29,2	14,01	28,6	13,41	29,2	14,01	28,2	13,01	28,8	13,61	28,7	13,51	28,9	13,71	28,4	13,21	28,9	13,71
2,5	22,78	35,8	13,02	37,1	14,32	36,2	13,42	37,0	14,22	36,0	13,22	36,7	13,92	36,2	13,42	36,7	13,92	35,9	13,12	36,6	13,82
3,0	30,37	43,6	13,23	44,6	14,23	43,8	13,43	44,4	14,03	43,6	13,23	44,2	13,83	43,9	13,63	44,4	14,03	43,6	13,23	44,3	13,93
3,5	37,97	51,4	13,43	52,4	14,43	51,5	13,53	52,3	14,33	51,3	13,33	52,1	14,13	51,6	13,63	52,2	14,23	51,3	13,33	51,8	13,83
4,0	45,56	59,0	13,44	60,0	14,44	59,3	13,74	60,0	14,44	58 9	13,34	59,6	14,04	59,2	13,64	59,7	14,14	58,9	13,34	59,7	14,14
4,5	53,15	66,5	13,35	67,4	14,25	66,7	13,55	67,5	14,35	66,4	13,25	67,2	14,05	66,8	13,65	67,3	14,15	66,6	13,45	67,2	14,05
5,0	60,74	73,8	13,06	75,1	14,36	74,4	13,66	75,0	14,26	74,0	13,26	74,5	13,76	74,4	13,66	74,8	14,06	74,2	13,46	74,7	13,96
5,5	68,34	81,7	13,36	82,5	14,16	81,9	13,56	82,4	14,06	81,7	13,36	82,2	13,86	81,9	13,56	82,3	13,96	81,8	13 46	81,9	13,56
6,0	75,93	89,3	13,37	89,5	13,57	89,7	13,77	89,9	13,97	89,4	13,47	89,4	13,47	89,6	13,67	89,6	13,67	89,5	13,57	89,5	13,57
Summe der Differenzen			132,57		155,38		148,98		154,78		145,68		152,18		149,18		153,58		146,58		151,98
Mittel			13,26		14,13		13,54		14,07		13,24		13,83		13,56		13,96		13,33		13,82

Digitized by Google

Tabelle C. 1.

Feder Nr. 1 für 6 kg größte Belastung.

		Belastung.											
Maßstabpunkt kg =		0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
Zugehörige Ablesung am ermittelten Maßstab mm		—	—	0,00	7,59	15,19	22,78	30,37	37,97	45,56	53,15	60,74	68,34	75,93
Beobachtungswerthe aus Tabelle A. 1 nach Abzug der Mittelwerthe aus Tabelle B. 1	Versuchsreihe 1	−13,26	—	−0,06	—	15,04	22,54	30,34	38,14	45,74	53,24	60,54	68,44	76,04
	2	−13,54	− 7,24	+0,06	7,36	15,06	22,66	30,26	37,96	45,76	53,16	60,86	68,36	76,16
	3	−13,24	− 7,14	−0,04	7,36	14,96	22,76	30,36	38,06	45,66	53,16	60,76	68,46	76,16
	4	−13,56	− 7,06	+0,04	7,34	15,14	22,64	30,34	38,04	45,64	53,24	60,84	68,34	76,04
	5	−13,33	− 7,13	+0,07	7,27	15,07	22,57	30,27	37,97	45,57	53,27	60,87	68,47	76,17
Summe		−66,93	−28,57	+0,07	29,43	75,27	119,17	151,57	190,17	228,37	266,07	303,87	342,07	380,57
Mittel		−13,39	− 7,14	+0,01	7,33	15,05	22,63	30,31	38,03	45,67	53,21	60,77	68,41	76,11

		Entlastung.											
Beobachtungswerthe aus Tabelle A. 1 nach Abzug der Mittelwerthe aus Tabelle B. 1	Versuchsreihe 1	−13,73	− 7,33	−0,33	7,27	15,07	22,97	30,47	38,27	45,87	53,27	60,97	68,37	75,37
	2	−13,67	− 7,17	+0,04	7,53	15,13	22,93	30,33	38,23	45,93	53,43	60,93	68,33	75,83
	3	−13,83	− 7,23	− 0,03	7,47	14,97	22,87	30,37	38,27	45,77	53 37	60,67	68,37	75,57
	4	−13,66	− 7,26	−0,06	7,44	14,94	22,74	30,44	38,24	45,74	53,34	60,84	68,34	75,64
	5	−13,72	− 7,12	−0,12	7,48	15,08	22,78	30,48	37,98	45,88	53,38	60,88	68,08	75,68
Summe		−68,61	−36,11	−0,50	37,19	75,19	114,29	152,09	190,99	229,19	266,79	304,29	341,49	378,09
Mittel		−13,72	− 7,22	−0,10	7,44	15,04	22,86	30,42	38,20	45,84	53,36	60,86	68,30	75,62
Mittelwerthe für	Belastung	−13,39	− 7,14	+0,01	7,33	15,05	22,63	30,31	38,03	45,67	53,21	60,77	68,41	76,11
	Entlastung	−13,72	− 7,22	−0,10	7,44	15,04	22,86	30,42	38,20	45,84	53,36	60,86	68,30	75,62
Mittel		−13,56	− 7,18	−0,05	7,39	15,05	22,75	30,38	38,14	45,76	53,29	60,82	68,36	75,87

Der den Versuchsreihen 1—5 (Belastung und Entlastung) am besten entsprechende Maßstab ergiebt sich aus der letzten Reihe der Tabelle, wenn man den für den Maßstabnullpunkt erhaltenen Werth = 0 einsetzt. Die Abweichungen am ermittelten Maßstab ergeben sich aus den letzten Reihen der untenstehenden Tabelle.

Für die Belastungen	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0 kg
Ablesungen . . . . a	0,00	6,38	13,50	20,95	28,61	36,31	43,94	51,70	59,32	66,85	74,38	81,92	89,43
Ermittelter Maßstab b	0,00	—	13,56	21,15	28,75	36,34	43,93	51,53	59,12	66,71	74,30	81,90	89,49
Verbleibende Differenzen . . . . a—b			− 0,06	− 0,20	− 0,14	− 0,03	+ 0,01	+ 0,17	+ 0,20	+ 0,14	+ 0,08	+ 0,02	− 0,06

$$\sum = \begin{matrix} -0{,}49 \\ +0{,}62 \end{matrix}; \quad \sum \Delta^2 = 0{,}1631.$$

Digitized by Google

c) Untersuchung der Kraftmaßstäbe.

Aus der Prüfung der Federn hat sich ergeben, daß innerhalb des nutzbaren Theils der Kraftleistung der Federn die Theilung der Maßstäbe nach den folgenden Werthen auszuführen ist:

1. für die Feder Nr. 1 entspricht 1 kg Belastung = 15,186 mm,
2. für die Feder Nr. 2 entspricht 1 kg Belastung = 9,730 mm,
3. für die Feder Nr. 3 entspricht 1 kg Belastung = 4,248 mm.

Aus den Werthen für die Gesammtdehnung läßt sich die Lage des Nullpunktes so ermitteln, daß die Abweichungen der in den Versuchsreihen 1—5 für jede Feder gefundenen Werthe innerhalb der Benutzungsgrenzen der Feder möglichst gering werden. Die Nullpunktsbestimmung ist wie folgt geschehen*).

Aus den in Tab. B 1—3 ermittelten Werthen erhält man einen berichtigten (untergestellten) Maßstab, indem man von den einzelnen Beobachtungswerthen der Tab. B die zuletzt gefundenen Mittelwerthe in Abzug bringt und die fünf Reihen in nachfolgender Ordnung schreibt (vergl. Tab. C 1—3*).

Ergebnisse aus den Tabellen A 2 und A 3	Feder Nr. 2 (A 2)	Feder Nr. 3 (A 3)
Angeblich größte Kraftleistung	9 kg	20 kg
Drahtdicke	4,8 mm	5,5 mm
Durchmesser der Spirale im spannungslosen Zustande	89 mm	87,5 mm
Zahl der Windungen	8,5	6,5
Zulässige Grenzen: a) für die geringste Beanspruchung	3 kg	6 kg
b) „ größte „	9 kg	20 kg
Hauptmittel aus allen 5 Versuchsreihen:		
Dehnungen für 1 kg Belastung | a) für die Belastung	9,724 mm	4,259 mm
b) „ Entlastung	9,736 mm	4,239 mm
c) Mittel aus a und b	9,730 mm	4,249 mm

Da die Tab. B 2 und B 3 nur für die Zwischenrechnung dienen, so sind dieselben fortgelassen. Von den Tab. C 2 und C 3 sind nur die Schlußzusammenstellungen wiedergegeben, aus denen die gegen den errechneten Maßstab noch verbleibenden Abweichungen der Beobachtungswerthe erhellen. Es ergaben sich:

Tabelle C 2 für die Feder Nr. 2.

Für die Belastungen	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9 kg
Ablesungen . . . . . a	0,00	7,42	15,70	24,98	34,69	44,55	54,25	63,87	73,56	83,37
Ermittelter Maßstab . . . . . b	0,00	—	—	24,99	34,72	44,45	54,18	63,91	73,64	83,37
Verbleibende Unterschiede a—b	0,00	—	—	— 0,01	— 0,03	+ 0,10	+ 0,07	— 0,04	— 0,08	+ 0,00

$$\sum = \begin{matrix} -0{,}16 \\ +0{,}17 \end{matrix}; \quad \sum \Delta^2 = 0{,}0239.$$

Tabelle C 3 für die Feder Nr. 3.

Für die Belastungen	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20 kg
Ablesungen . . . . . a	0,00	6,21	13,34	21,48	29,98	38,51	47,13	55,71	64,24	72,59	80,97
Ermittelter Maßstab . . . . b	0,00	—	—	21,58	30,08	38,57	47,07	55,56	64,06	72,55	81,05
Unterschiede . . . . . a—b	0,00	—	—	— 0,10	— 0,10	— 0,06	+ 0,06	+ 0,15	+ 0,18	+ 0,04	— 0,08

$$\sum = \begin{matrix} -0{,}34 \\ +0{,}43 \end{matrix}; \quad \sum \Delta^2 = 0{,}0866.$$

Der Vergleich der gelieferten Maßstäbe mit den in den vorstehenden Tab. A ermittelten Werthen (vergl. Seite 15) ergiebt:

*) Nur Tab. B 1 ist (Seite 16) vollständig abgedruckt.
**) Nur Tab. C 1 ist (Seite 17) vollständig abgedruckt.

Digitized by Google

Tabelle D.

Feder Nummer	Gebrauchsgrenzen von kg	Gebrauchsgrenzen bis kg	1 kg entspricht einer Dehnung von: ermittelt nach Tabelle A a mm	im gelieferten Maßstabe b mm	Unterschiede von b—a in mm	Unterschiede von b—a in %
1	1	6	15,186	15 186	± 0,000	0,0
2	3	9	9,730	9,731	+ 0,001	0,01
3	6	20	4,249	4,242	— 0,007	0,16

Die ermittelten Theilungsfehler können bei der Benutzung der Maßstäbe vollständig vernachlässigt werden.*)

Die Lage der Nullpunkte gegenüber den ersten nutzbaren Theilungsstrichen der gelieferten Maßstäbe hat folgende Werthe gegeben:

Tabelle E.

Feder Nummer	Gebrauchsgrenzen von	Gebrauchsgrenzen bis	Entfernung des Nullpunktes vom ersten Theilstrich
1	1	6	13,535 mm
2	3	9	24,986 „
3	6	20	21,645 „

Vergleicht man mit den für die gelieferten Maßstäbe thatsächlich ermittelten Theilungen die aus den Tab. C 1—3 erhaltenen Mittelwerthe der jeweiligen 5 Beobachtungsreihen (Zeile a der unteren Tabellen), so erhält man die in der nachfolgenden Tabelle angegebenen noch vorhandenen Abweichungen.

Tabelle F 1. — Nr. 1: 6 kg Feder.

Für die Belastungen	0,0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0 kg
Ablesungen aus Tab. C 1 a	0,00	13,50	20,95	28,61	36,31	43,94	51,70	59,32	66,85	74,38	81,92	89,43
Gelieferter Maßstab . . b	0,00	13,54	21,13	28,73	36,32	43,91	51,51	59,10	66,69	74,28	81,88	89,47
Verbl. Unterschiede a—b	0,00	—0,04	—0,18	—0,12	—0,01	+0,03	+0,19	+0,22	+0,06	+0,10	+0,04	—0,03

$\sum -0{,}38$ $\sum +0{,}64$; $\sum \Delta^2 = 0{,}1500$.

Tabelle F 2. — Nr. 2: 9 kg Feder.

Für die Belastungen	0	3	4	5	6	7	8	9 kg
Ablesungen aus Tabelle C 2 . . . . . a	0,00	24,98	34,69	44,55	54,25	63,87	73,56	83,37
Gelieferter Maßstab . . . . . b	0,00	24,99	34,72	44,45	54,18	63,91	73,63	83,37
Verbleibende Unterschiede . . . . . a—b	0,00	— 0,01	— 0,02	+ 0,10	+ 0,07	— 0,02	— 0,07	0,00

$\sum -0{,}12$ $\sum +0{,}17$; $\sum \Delta^2 = 0{,}0207$.

Tabelle F 3. — Nr. 3: 20 kg Feder.

Für die Belastungen	0	6	8	10	12	14	16	18	20 kg
Ablesungen aus Tabelle C 3 a	0,00	21,48	29,98	38,51	47,13	55,71	64,24	72,59	80,97
Gelieferter Maßstab . . . . . b	0,00	21,65	30,13	38,61	47,10	55,58	64,07	72,55	81,03
Verbleibende Unterschiede a—b	0,00	— 0,17	— 0,15	— 0,10	+ 0,03	+ 0,13	+ 0,17	+ 0,04	— 0,06

$\sum -0{,}48$ $\sum +0{,}37$; $\sum \Delta^2 = 0{,}1133$.

Die Abweichungen der Mittelwerthe der jeweiligen fünf Beobachtungsreihen (Reihe a der obigen Tabellen) von den zugehörigen Maßstabswerthen stellen sich noch etwas günstiger,

*) Die Ausführung des Vergleiches geschah auf der Theilmaschine mit Hülfe eines Mikrometermikroskopes durch direkten Vergleich des gelieferten Maßstabes mit dem zur Ausmessung der Diagramme benutzten, in halbe Millimeter getheilten Elfenbeinmaßstabe.

Digitized by Google

als die in den Tab. C 1—3 ermittelten, wie man aus dem Vergleich der Summen der Fehlerquadrate ohne Weiteres erkennt.

Summe der Fehlerquadrate aus:

Tabelle C 1 = 0,1631 aus Tabelle F 1 = 0,1500
„ C 2 = 0,0239 „ „ F 2 = 0,0207
„ C 3 = 0,0866 „ „ F 3 = 0,1133

Die Uebereinstimmung der gelieferten Maßstäbe mit den ermittelten ist befriedigend.

d) Untersuchung des Dehnungsmaßstabes.

Der Dehnungsmaßstab ist mit dem mit Präcisions-Aichung versehenen Messing-Normalstab auf der Theilmaschine mikrometrisch bei Zimmerwärme verglichen.

Die Vergleichung hat ergeben, daß die Länge zwischen den Theilstrichen 0 und 12 = 21,633 mm ist, während diese Länge $12 \times 1{,}8 = 21{,}6$ mm betragen sollte. Die vorhandene Abweichung + 0,033 mm kann für den praktischen Gebrauch vernachlässigt werden.

e) Untersuchungen der Einspannvorrichtungen.

Die Einspannvorrichtung soll so wirken, daß der Probestreifen am äußersten Ende der Einspannvorrichtung sicher erfaßt wird und in Richtung der Kraftäußerung gerade aus dem Maul heraustritt. Die Backen sollen mit weichem Leder ausgefüttert sein.

Diese Bedingungen sind bei der vorliegenden Maschine im gegenwärtigen Zustande bei den schmalen Backen von 15 mm Breite erfüllt; bei den 25 mm breiten Backen hingegen nicht.

Man hat darauf zu achten, daß die vorgenannten Bedingungen auch in Zukunft erfüllt bleiben, da andernfalls falsche Dehnungsmessungen entstehen würden.

f) Untersuchung des Selbstzeichners.

Der todte Gang zwischen den Zähnen der Uebersetzungsräder beträgt durchschnittlich 0,48 mm, im Maximum 0,7 mm. Hierdurch kann in dem ungünstigsten Falle, daß der Reibungswiderstand der Führung, beziehentlich des Zeichenstiftes das Gewicht dieser Stücke stellenweise überschreitet, ein größter Fehler in der Kraftbestimmung:

für die Feder Nr. 1 von 0,046 kg
„ „ „ Nr. 2 „ 0,072 „
„ „ „ Nr. 3 „ 0,187 „

erzeugt werden. Durch sorgfältige Instandhaltung und Schmierung der Führungen kann dieser Fehler fast ganz vermieden werden.

g) Untersuchung auf Mängel in der mechanischen Ausführung.

Die Untersuchung der mechanischen Ausführung der Maschinentheile hat ergeben:

Die Führung für den Zeichenstift war so locker, daß erhebliche Fehler für die Dehnungsmessungen entstanden wären. Sie ist in der Versuchs-Anstalt in einen normalen Zustand versetzt worden.

2. Untersuchung eines Rehse'schen Papierprüfers.

Der Apparat unterscheidet sich bezüglich seines Constructionsgrundsatzes wesentlich von dem vorgenannten Hartig-Reusch'schen und dem nachbeschriebenen Wendler'schen. Bei den beiden letztgenannten Apparaten wird die Zerreißungsfestigkeit und die Dehnbarkeit eines Papierstreifens ermittelt. Bei dem Rehse'schen Apparat wird dagegen diejenige Kraft bestimmt, welche erforderlich ist, um vermittelst eines Stempels von bestimmter Form eine kreisrunde, am Rande ringsum eingespannte Papierfläche in der Mitte zu durchdrücken. Gleichzeitig wird die Durchbiegung festgestellt, welche das Papier hierbei erfährt. Da die Festigkeit nach den beiden Hauptrichtungen des Papiers verschieden ist, so kann aus den gewonnenen Ergebnissen Reißlänge und Dehnung nicht berechnet werden. Der Rehse'sche Apparat kann also zur Bestimmung dieser Größen nicht dienen; dahingegen dürfte der als Tascheninstrument ausgebildete Apparat mit Vortheil zur schnellen Vergleichung verschiedener Papiersorten, z. B. in Lager- oder Fabrikräumen, mit Vortheil benutzt werden können.

Digitized by Google

Da der Apparat in verschiedenen Zeitschriften bereits ausführlich beschrieben ist, (Papier-Zeitung 1886 S. 1325 — Dingler's p. J. 1887 S. 28 u. a. m.), so möge hier unter Hinweis auf die weiter unten gegebene Abbildung eine kurze Aufführung seiner Hauptbestandtheile genügen.

Durch eine Mikrometerschraube wird unter Zusammendrückung einer zwischengeschalteten Stahldraht-Spiralfeder der Stempel auf das Papierstück gedrückt, welches mittelst eines tellerförmigen Einspannstückes und einer in der Mitte desselben angreifenden Druckschraube ringsherum am Rande festgeklemmt ist. Die Zusammendrückung der Feder, d. h. also die Messung der Kraftäußerung im Apparat, geschieht durch einen mit schwacher Reibung in seiner Hülse gleitenden Stift, der einen Maßstab trägt, der mit Hülfe eines an der Hülse angebrachten Nonius auf 0,2 mm abgelesen werden kann, wobei 0,1 mm noch zu schätzen ist. Die Durchbiegung, d. h. die Kuppentiefe der Papierprobe, wird gemessen durch den Unterschied des Vorschubes der Mikrometerschraube und des vorerwähnten Stiftes. Die Ablesung der Mikrometerschraube geschieht demgemäß ebenfalls in Millimetern, und zwar ist ihre Trommel in 100 Theile getheilt, so daß 0,01 mm abgelesen werden kann.*)

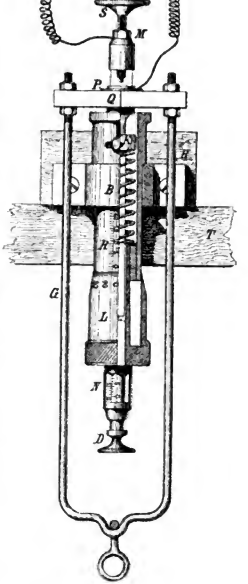


Fig. 1.

Da der Rehse'sche Papierprüfer nur Vergleichswerthe liefern kann, so müssen verschiedene Exemplare desselben unter sich in den maßgebenden Punkten vollkommen übereinstimmend gearbeitet sein, wenn die mit ihnen erhaltenen Ergebnisse mit einander vergleichbar sein sollen.

Aus diesem Grunde ist die Anordnung der Prüfung so getroffen worden, daß diese maßgebenden Punkte bestimmt erkennbar gemacht sind. Die Prüfung hat sich auf die folgenden Haupttheile des Apparates erstreckt:

a) Die Feder in Bezug auf ihre Dehnbarkeit und Kraftäußerung.
b) Den Kraftmaßstab und seinen Nonius in Bezug auf ihre Richtigkeit.
c) Die Ganghöhe der Meßschraube in Bezug auf ihren Maßwerth.
d) Die Einspannung auf die Vollkommenheit ihrer Wirkung und auf die Abmessungen.
e) Die mechanische Ausführung des gesammten Apparates, insofern als Mängel derselben Einfluß auf die Richtigkeit und Zuverlässigkeit der Versuchsergebnisse üben können.

a) Untersuchung der Feder.

Der Papierprüfer wurde in der in Fig. 1 dargestellten Weise mit einem Holzklotz H durch den Bügel B fest verbunden, wobei der Träger für die Einspannschraube S in das Holz eingelassen war. Das Holzstück wurde auf einer Tischplatte T so befestigt, daß das Instrument senkrecht und in seiner Lage unverrückbar befestigt war.

Die Prüfung wurde mit Hülfe eines Gehänges G vollzogen, welches mit seinem Querstück A mittelst einer Vertiefung seitlich unverrückbar auf dem Druck-

*) Hierzu ist zu bemerken, daß es nicht recht folgerichtig ist, zwei Ablesungen von so stark abweichender Größenordnung mit einander zu vereinen; eine Trommeltheilung nach Zehnteln genügt, wenn der Kraftmaßstab (am Stift) nach Zehnteln abgelesen wird.

Digitized by Google

stempel des Apparates anlag und an welchem unten die Belastungsgewichte mittelst Schnur angehängt werden konnten. Das Gehänge konnte also durch die Meßschraube L unter Zusammendrückung der Feder langsam gehoben werden, bis die an dem Querstück isolirt angebrachte Platte P in Berührung mit der Unterfläche der Schraube S kam. Hierdurch wurde der Stromkreis des elektrischen Elements E geschlossen, das Galvanoskop J schlug aus.

Folgende Vorsichtsmaßregeln sind beobachtet worden:

1. Der Apparat wurde senkrecht befestigt.

2. Bei jedem Versuch wurde beachtet, daß der Knopf K des Stempels stets die rechte Seitenfläche des Führungsschlitzes berührte, weil dies wegen des Drehungssinnes der Schraube L auch bei der späteren Benutzung des Apparates der Fall ist.

3. Vor jeder neuen Bestimmung wurde die Schraube L noch ein beträchtliches Stück weiter zurückgedreht, als zum völligen Aufliegen von Q erforderlich war.

4. Nunmehr konnte vor jeder neuen Einstellung der Maßstab D ein Stückchen in seine Hülse hinein geschoben werden. Damit war auch die durch den Maßstab verursachte, beim Gebrauch des Prüfers jedesmal auftretende Reibung berücksichtigt.

5. Zur Ermittelung der Nullage stellte man die Schraube L auf ihren Nullpunkt ein und klemmte nun die Schraube S mit Hülfe der Gegenmutter M so fest, daß gerade Stromschluß erfolgte. Daß dies genau der Fall, wurde ermittelt, indem man die Schraube L zunächst zurück und dann langsam vordrehte, bis das Galvanoskop J Stromschluß anzeigte. Die Schraube L mußte dann auf Null einspielen.

6. Das Gewicht des Bügels sammt der Schnur betrug 100 g; es hat auf die Ermittelung des Federwerthes keinen Einfluß.

7. Letztere geschah mit Hülfe von mit Präcisionsteilung versehenen Normalgewichten.

8. Bei jeder Belastungsstufe sind mindestens drei Sätze von je zwei Beobachtungen gemacht, von denen die eine erhalten wurde, indem man die Schraube L langsam voranbewegte, bis der erste Stromschluß erfolgte, während bei der zweiten unter leichtem Klopfen die Schraube gedreht wurde, bis beständiger Stromschluß eintrat, der durch weiteres Klopfen nicht mehr unterbrochen werden konnte.

9. Von einem Beobachter sind unabhängig von einander drei Reihen von Messungen ausgeführt. Zwischen den beiden ersten Reihen liegen mehrere Tage, während welcher der Apparat aus seiner Lage entfernt und anderweitig benutzt war.

Aus Tab. G (S. 23) sind auf ganz ähnliche Weise wie beim Hartig-Reusch'schen Apparat die den verschiedenen Belastungen entsprechenden Maßstabsablesungen ermittelt; man erhielt so Tabelle H als Mittel aus den drei Beobachtungsreihen.

Tabelle H.

Belastungen in kg	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ermittelter Maßstab in Umdrehungen der Mikrometerschraube	0	2,30	4,13	5,93	7,78	9,49	11,11	12,71	14,32	15,80	16,77

Legt man Werth auf eine möglichst genaue Kraftbestimmung aus den bei einer Papierprüfung gewonnenen Ablesungen, so würde man zweckmäßig die in der letzten Reihe der Tab. H gewonnenen Mittelwerthe mit Hülfe des Schraubenwerthes der Meßschraube auf den Kraftmaßstab umrechnen, die so erhaltenen Zahlenwerthe zeichnerisch auftragen, durch einen Linienzug verbinden und etwa die den Zehntel-Umdrehungen von L entsprechenden Werthe in einer Tabelle vereinigen.

Da der Schraubenwerth der Meßschraube sich zu 1,00 mm ergeben hat und die Abweichung vom Theilungswerth des Kraftmaßstabes 19,97/20—1,00 = 0,0015 mm für praktische Zwecke nicht in Rechnung gestellt zu werden braucht, so kann man im gegenwärtigen Fall die in Tab. H erhaltenen Maßstabwerthe ohne weitere Verbesserung zur Aufstellung der vorgenannten Tabelle benutzen. Die entstehende Curve ist in Fig. 2 (S. 24) eingezeichnet.

b) Untersuchung des Kraftmaßstabes und seines Nonius.

1. Die Theilung am Kraftmaßstab.

Die Theilung des Kraftmaßstabes D (Fig. 1) wurde mikrometrisch bei Zimmerwärme mit dem Normalmaßstab verglichen.

Digitized by Google

Tabelle G. Versuchsergebnisse.

Alle Ergebnisse sind Umdrehungen der Meßschraube L.

Belastungen am Gehänge kg	Reihe 1				Reihe 2				Reihe 3				Mittel aus allen 3 Reihen	
	Ablesungen ohne Erschütterung r	Ablesungen mit Erschütterung R	Differenzen R − r	Differenzen R − Rn (n + 1)	Ablesungen ohne Erschütterung r	Ablesungen mit Erschütterung R	Differenzen R − r	Differenzen R − Rn (n + 1)	Ablesungen ohne Erschütterung r	Ablesungen mit Erschütterung R	Differenzen R − r	Differenzen R − Rn (n + 1)	Differenz Δ M	Summe Σ M
	23/10 86				23/10 86	*			23/10 86					
1,0	2,16	2,25	0,09		—	2,50	—		2,22	2,21	—			
	2,17	2,24	0,07		—	2,55	—		2,23	2,20	—			
	2,17	2,26	0,09		—	2,46	—		2,23	2,26	—			
Mittel	2,17	2,25	—	2,25	—	2,50	—	2,50	2,23	2,26	—	2,26	2,30	2,30
2,0	4,06	4,07	0,01		—	4,22	—		—	4,12	—			
	4,05	4,07	0,02		—	4,37	—		—	4,14	—			
	4,05	4,07	0,02		—	4,32	—		—	4,16	—			
Mittel	4,06	4,07	—	1,82	—	4,30	—	1,80	—	4,14	—	1,88	1,83	4,13
3,0	5,89	5,92	0,03		—	6,14	—		—	5,89	—			
	5,89	5,89	0,00		—	6,14	—		—	5,89	—			
	5,90	5,90	0,00		—	6,12	—		—	5,89	—			
Mittel	5,89	5,90	—	1,83	—	6,13	—	1,83	—	5,89	—	1,75	1,80	5,93
4,0	—	7,65	—		—	8,04	—		7,72	7,72	—			
	—	7,75	—		—	8,00	—		7,72	7,72	—			
	—	7,68	—		—	8,01	—		7,72	7,72	—			
Mittel	—	7,73	—	1,83	—	8,02	—	1,89	7,72	7,72	0,00	1,83	1,85	7,78
5,0	—	9,36	—		—	9,78	—		—	9,43	—			
	—	9,36	—		—	9,77	—		—	9,50	—			
	—	9,36	—		—	9,75	—		—	9,45	—			
Mittel	—	9,36	—	1,63	—	9,77	—	1,75	—	9,46	—	1,74	1,71	9,49
6,0	—	11,04	—		—	11,40	—		—	10,99	*)			
	—	11,02	—		—	11,40	—		—	10,98	—			
	—	11,04	—		—	11,43	—		—	10,99	—			
Mittel	—	11,04	—	1,68	—	11,43	—	1,66	—	10,99	—	1,53	1,62	11,11
7,0	—	12,62	—		—	12,93	*)		12,69	12,67	—			
	—	12,70	—		—	13,04	—		12,70	12,69	—			
	—	12,67	—		—	12,85	—		12,70	12,68	—			
Mittel	—	12,66	—	1,62	—	12,91	—	1,48	12,70	12,68	— 0,02	1,69	1,60	12,71
8,0	—	14,30	—		14,61	14,58	—		—	14,23	—			
	—	14,28	—		14,63	14,50	—		—	14,30	—			
	—	14,30	—		14,67	14,49	—		—	14,27	—			
Mittel	—	14,29	—	1,63	14,65	14,52	— 0,13	1,61	—	14,27	—	1,59	1,61	14,32
9,0	—	15,78	—		16,15	16,05	—		—	15,73	—			
	—	15,66	—		16,06	16,09	—		—	15,72	—			
	—	15,72	—		16,08	16,10	—		—	15,70	—			
Mittel	—	15,72	—	1,43	16,10	16,08	— 0,02	1,56	—	15,72	—	1,45	(1,48)	15,80
10,0	—	16,68	—		17,18	16,99	—		16,74	16,69	—			
	—	16,69	—		17,18	17,06	—		16,73	16,69	—			
	—	16,75	—		17,12	17,02	—		16,72	16,70	—			
Mittel	—	16,71	—	0,99	17,16	17,03	— 0,13	0,95	16,73	16,69	— 0,04	0,97	(0,97)	16,77
11,0	—	17,45	—		17,49	—	—		—	—	—			
	—	17,50	—		17,49	—	—		—	—	—			
	—	17,50	—		17,49	—	—		—	—	—			
Mittel	—	17,48	—	(0,77)	17,49	—	—	—	—	—	—			
0	0,09	0,10	—		0,28	0,26	—		0,08	0,05	—			
	0,10	0,01	—		0,30	0,33	—		0,08	0,00	—			
	0,22	0,24	—		0,28	0,25	—		0,10	0,03	—			
Mittel	0,13	0,11	—		0,28	0,28	—		0,09	0,03	—	—		
					*) 7 kg				*) 6 kg	11,00	—			
					—	13,00	—		—	10,99	—			
					—	12,85	—		—	11,03	—			
						12,95	—		11,04	—	—			
					12,99	—	—		11,03	—	—			
					13,01	—	—		11,04	—	—			
					13,00	—	—		11,04	11,01	0,03			
					13,00	12,93	— 0,07							
											Summe		16,77	
									Summe mit Ausschluß der beiden letzten Zahlen				11,32	
												Mittel =	1,79	

Digitized by Google

Es ergab sich, daß 20 mm des Kraftmaßstabes 19,97 mm des Normalmaßstabes entsprechen. Die Abweichung von 0,03 mm kann beim praktischen Gebrauch des Apparates vernachlässigt werden, da der Nonius nur 0,2 mm ablesen und 0,1 mm schätzen läßt.

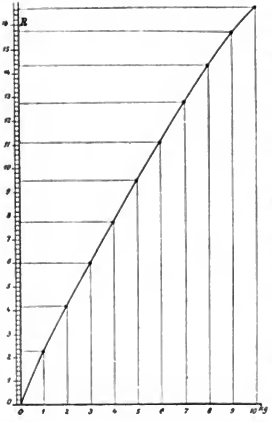


Fig. 2.

2. Die Theilung des Nonius.

Die Theilung des Nonius ist in gleicher Weise untersucht. Man erhielt:

Tabelle J.

Bezifferung am Nonius	0	1	2	3	4	5
Maßstabablesung (Mittel aus zwei Messungen)	0,47	1,26	2,07	2,88	3,68	4,47
Unterschiede oder Länge einer Theilung		0,79	0,81	0,81	0,80	0,79

e) Untersuchung der Ganghöhe der Meßschraube.

Der Apparat wurde auf ein Holzstück wagerecht liegend aufgespannt und auf dem Tisch der Theilmaschine befestigt. Die Meßschraube L wurde hierauf jedesmal um eine ganze Umdrehung vorgeschraubt und scharf auf Index-Null eingestellt. Die Kante der Schraubentheilung wurde zwischen die Fäden des Einstellmikroskopes genommen und hierauf der Normalmaßstab mit dem Mikrometer abgelesen. Man erhielt folgende Ablesungen:

Tabelle K.

Ablesung am Apparat	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ablesung am Mikrometer	0,69	0,67	0,55	0,46	0,52	0,60	0,62	0,79	0,62	0,50	0,46	0,53	0,52	0,44	0,50	0,67	0,52	0,62	0,54
Unterschiede gegen Ablesung 0, in 0,01 R. .	—	−2	−14	−23	−17	−9	−7	+10	−7	−19	−23	−16	−17	−25	−19	−2	−17	−7	−15

Diese Unterschiede sind in Fig. 3 aufgetragen. Da die Ausgleichslinie AB nahezu parallel zur Nulllinie verläuft, so ergiebt sich eine Umdrehung der Meßschraube L am Instrument R = 1,00 mm. Da eine Umdrehung der Mikrometerschraube R_1 = 0,123 mm ist, so ergiebt sich aus Fig. 3 ferner die Maximalabweichung vom Mittelwerth zu etwa $\Delta = 0{,}23\ R_1 = 0{,}23 \cdot 0{,}123 = 0{,}028$ mm, eine vernachlässigbare Größe.

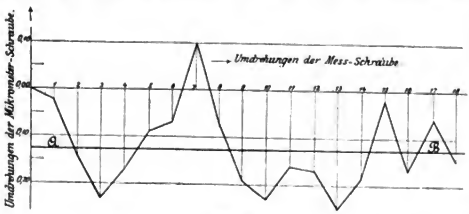


Fig. 3.

d) Untersuchung der Einspannvorrichtung.

1. Der Einspannteller. Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Rehse'scher Papierprüfer ist von der Uebereinstimmung der Abmessungen der Teller und

Digitized by Google

von der Wirkung der Einspannung abhängig. Bei allen Stücken muß der Innenrand a (Fig. 4) des Tellers das Papier gleichmäßig festklemmen, während der äußere Papierrand eben niedergedrückt wird. Die Innenkante darf nicht abgerundet, aber auch nicht scharf schneidend sein. Man erkennt die richtige Wirkung der Einspannvorrichtung, wenn man ein Stück dickes Fließpapier fest einspannt und später den Eindruck untersucht. Bei dem vorliegenden Apparat war die richtige Wirkung erreicht. Die Abmessungen des Tellers wurden am Normalmaßstab ausgemessen und ergaben:

Fig. 4.

d = innerer Durchmesser des Tellers = 15,77 mm Mittel aus 8 Messungen,
a = Breite des Innenrandes = 1,44 „ „ „ 8 „
b = Breite des Wulstes = 0,45 „ „ „ 8 „

Bei Benutzung des Prüfers ist darauf zu achten, daß der Teller stets gleichmäßig fest angepreßt wird, da andernfalls keine übereinstimmenden Ergebnisse erzielt werden können.

2. Der Druckstempel. Der Durchmesser des Druckstempels muß bei allen Apparaten gleich, die obere Fläche muß eben und der Rand nur ganz schwach abgerundet sein, wenn die Apparate unter einander vergleichbare Ergebnisse liefern sollen.

Der Durchmesser des Druckstempels am geprüften Apparat beträgt: 6,85 mm (Mittel aus 4 Messungen).

e) Untersuchung der mechanischen Ausführung.

Solche Mängel, welche von Einfluß auf das Versuchsergebniß sein können, sind nicht gefunden worden. Der Einspannteller zeigt an der Fläche des Innenrandes eine Drehriefel.

f) Untersuchungen über den Einfluß der Art der Einspannung auf das Ergebniß.

Mit dem vorbesprochenen und einem für die Sammlung erworbenen Rehse'schen Papierprüfer*) sind mehrere Versuche mit verschiedenen Papieren durchgeführt worden, deren Ergebnisse mitgetheilt werden sollen, um dem Leser die Möglichkeit zu gewähren, sich ein Urtheil über die Leistungsfähigkeit des Apparates zu verschaffen.

Um zunächst einen Ueberblick über den Einfluß der Art der Einspannung zu erhalten, wurden mit verschiedenen Papieren, deren Eigenschaften unten aufgeführt sind (Tab. L), die in Tab. M wiedergegebenen Werthe erzielt. Die betreffenden Bogen wurden in Streifen zerschnitten, letztere nach der Reihenfolge geordnet und abermals zerlegt, so daß quadratische Probestücke entstanden, welche nun in der Reihenfolge untersucht wurden, daß die geraden Nummern zu Versuchen unter Einspannung mittelst des äußeren Tellerrandes (Reihen a), die ungeraden Nummern aber unter Einspannung mittelst des inneren Tellerrandes (Reihen b) benutzt wurden. Um den äußeren Tellerrand allein zur Wirkung zu bringen, war derselbe mit einem Papierring (doppelte Lage Conceptpapier) (Fig. 5) beklebt. Benutzt wurde Apparat I; der Teller wurde jedesmal fest eingespannt.

Fig. 5.

Tabelle L.

Papierbezeichnung	Klasse	Mittlere Reißlänge R = km	Dehnung δ = %	Bemerkungen
A	I 1	6,18	4,8	T. Nr. 592
B	I 2	5,24	4,5	„ „ 499
C	I 4	3,73	3,6	„ „ 503
D	III 4	3,52	3,5	„ „ 500a, Asche 10,0% Stroh- u. Holzcellulose, geringe Mengen Baumwolle u. Leinenfaser
E	IV 6	3,01	1,6	T. Nr. 510c, Asche 19,75, Holzschliff und Holzcellulose
F	Conceptpapier der Versuchsanstalt			

Die für die Beurtheilung des Apparates wichtigen Zahlen sind aus Tab. M abgeleitet und auf Tab. N übertragen. Die Abweichungen der Beobachtungswerthe von den jeweiligen Mitteln sind in der zweiten Spalte für jedes Papier in

*) Der erstgenannte Apparat ist in der Folge mit II, der letztgenannte mit I bezeichnet worden.

Digitized by Google

Procenten bezogen auf den Mittelwerth angegeben. Aus der Summe der Fehlerquadrate ist alsdann der mittlere Fehler einer Bestimmung $F = \sqrt{\Sigma\Delta^2/n-1}$ und derjenige des Mittelwerthes $Fm = \sqrt{\Sigma\Delta^2/n(n-1)}$ ermittelt, um an der Hand dieser Zahlen einen ungefähren Einblick in die Zuverlässigkeit des Ergebnisses bei den beiden angewendeten Versuchsbedingungen und bei der Anwendung verschiedener Papiere zu erhalten; auf eine ausführlichere Behandlung des Gegenstandes wird wegen mangelnden praktischen Interesses nicht eingegangen.

Tabelle M. — Untersuchungen über den Einfluß der Art der Einspannung auf das Ergebniß des Nehse'schen Apparates.

Versuch Nr.	Papier A			Papier B			Papier C			Papier D			Papier E			Papier F		
	p+f	p	f	p+f	p	f	p+f	p	f	p+f	p	f	p+f	p	f	p+f	p	f
a) Außen eingespannt.																		
1	13,68	12,8	0,88	12,52	11,3	1,22	6,81	5,8	1,01	5,85	4,9	0,95	4,50	3,7	0,80	9,58	8,7	0,88
2	15,20	14 0	1,20	12,71	11,6	1,11	7,24	6,3	0,94	6,33	5,3	1,03	4,10	3,3	0,80	9,06	8,1	0,96
3	14,13	13,0	1,13	10,15	9,1	1,05	5,74	4,8	0,94	6,13	5,1	1,03	4,50	3,8	0,70	9,57	8,7	0,87
4	13,90	12,8	1,10	12,27	11,3	0,97	6,35	5,5	0,85	5,90	4,8	1,10	4,30	3,6	0,70	8,45	7,5	0,95
5	12,90	11,9	1,00	12,66	11,6	1,06	7,30	6,3	1,00	6,05	5,0	1,05	4,33	3,6	0,73	9,13	8,1	1 03
6	13,81	12,8	1,01	12,68	11,6	1,08	6,25	5 2	1,05	5,65	4,6	1,05	4,05	3,5	0,55	8,35	7,3	1,05
7	13,42	12,4	1,02	11,52	10,4	1,12	6 65	5,6	1,05	5,93	4,9	1,03	4,85	4,1	0,75	8,80	7,8	1,00
8	14,20	13,2	1,00	12,82	11,7	1,12	7,33	6,4	0,93	6,43	5,3	1,13	4,43	3,7	0,73	8,50	7,5	1,00
9	12,22	11,3	0,90	11,50	10,4	1,10	6,91	6,0	0,91	6,20	5,2	1,00	4,95	4,0	0,95	9,01	8,1	0,91
10	12,93	12,0	0,93	11,71	10,7	1,01	7,00	6,2	0,80	6,33	5,3	1,03	4,35	3,7	0,65	10,36	9,3	1,00
Summe	136,39	126,2	10,17	120,54	109,7	10,84	67,58	58,1	9,48	60,80	50,4	10,40	44,36	37,0	7,36	90,75	81,1	9,65
Mittel	13,64	12 62	1,02	12,05	10,97	1,08	6,76	5,81	0,95	6 08	5 04	1,04	4,44	3,70	0,74	9,08	8,11	0,97
b) Innen eingespannt.																		
1	12,98	12,2	0 78	11,61	10,7	0,91	7,56	6,7	0,86	6,15	5,3	0,85	4,13	3,5	0,63	8 30	7,4	0,90
2	12,99	12 2	0,79	11,60	10,7	0,90	6,40	5,5	0,90	5,57	4,7	0,87	4,22	3,5	0,72	9,01	8,1	0,91
3	13,70	12,9	0,80	11,97	11,0	0,97	6,93	6,1	0,83	6,30	5,3	1,00	4,54	3,8	0,74	8,79	8,0	0,79
4	13,30	12,4	0,90	11,93	11,0	0,93	6,87	6,0	0,87	5,52	4,6	0,92	4,50	3,8	0,70	7,74	6,8	0,94
5	11,93	11,3	0,63	10,41	9,6	0,81	6,76	5,9	0,86	6,11	5,2	0,91	4,70	3,8	0,90	9,53	8,6	0,93
6	12,38	11,6	0,78	11,52	10,7	0,82	8,56	7,6	0,96	6,65	5,6	1,05	4,95	4,2	0,75	8 88	8,1	0,78
7	13,21	12,5	0,71	11,31	10,4	0,91	6,18	5,5	0,68	5,57	4,7	0,87	4,65	3,9	0,75	8,81	8,0	0,81
8	13,20	12,4	0,80	11,30	10,4	0,90	7,02	6,1	0,92	5,83	5 0	0,83	4,65	4,0	0,65	8,57	7,8	0,77
9	12,82	12,0	0,82	11,49	10,6	0,89	6,79	6,0	0,79	6,08	5,1	0,92	4,65	3,9	0,75	8,58	7,7	0,88
10	12,04	11,3	0,74	11,41	10,6	0,81	6,55	5,9	0,65	6,13	5,2	0,93	4,00	3,4	0,60	8,78	8,0	0,78
Summe	128,55	120,8	7,75	114,55	105,7	8,83	69,62	61,3	8,32	59,91	50,7	9,15	44,99	37,8	7,19	86,99	78,5	8,49
Mittel	12,86	12,08	0,78	11,46	10,57	0,89	6,96	6,13	0,83	5,99	5,07	0,92	4,50	3,78	0,72	8,70	7 85	0,85
a/b. **100**	—	**104**	**130**	—	**104**	**109**	—	**95**	**114**	—	**99**	**113**	—	**98**	**103**	—	**104**	**114**

Mittelwerthe aus allen 6 Versuchsreihen a/b. **100**: p = **101**, f = **114**.

Man erkennt bei oberflächlichem Vergleich der Schlußergebnisse in den einzelnen Abtheilungen der Tab. N (S. 28/29), daß die Festigkeitseigenschaften des Papiers keinen klar erkennbaren Einfluß auf die Zuverlässigkeit der Angaben des Apparates ausüben; die Größe des mittleren Fehlers steht in keinem offenbaren Verhältniß zu den am Kopf angegebenen Mittelwerthen. Vergleicht man die in der letzten Spalte gegebenen, aus allen Zahlen einer Abtheilung berechneten mittleren Fehler einer Bestimmung, so erkennt man, daß dieser Fehler bezüglich der Kraftbestimmung bei Einspannung mit dem Innenrand durchschnittlich kleiner ausfällt, als bei Einspannung am Außenrand; letzterer Fehler ist bei dem Versuchszustand des Apparates um 11% größer gewesen. Für die Dehnungsbestimmung scheint die Unsicherheit keine so erhebliche zu sein. Der mittlere Fehler ist bei Außeneinspannung nur um etwa 4% kleiner gewesen, als bei Inneneinspannung. Es ist hiernach Werth darauf zu legen, daß der Teller des Apparates das Papier stets vollkommen und sicher mit seinem Innenrande festklemmt. Die

Digitized by Google

Berechtigung dieser Forderung wird noch mehr hervortreten, wenn man die Schlußzahlen der Tab. M vergleicht. Diese Zahlen lassen erkennen, daß die Kraftablesungen bei Außen- und Innen-Einspannung (festes Anziehen der Schraube vorausgesetzt) verhältnißmäßig wenig beeinflußt sind, wie dies aus der Natur der Sache verständlich ist, da ja für die zum Durchstoßen erforderliche Kraft in erster Reihe die Abmessungen des Stempels und der Durchmesser des inneren Tellerrandes maßgebend sind. Für die Größe der Dehnung kommt aber der Radius desjenigen Kreises in Betracht, in welchem das Papier thatsächlich festgehalten ist, und deswegen fand man die Pfeilhöhe der entstehenden Kuppe bei Außeneinspannung um etwa 14% größer, als bei Inneneinspannung.

Diese Ueberlegung hatte bereits zu der Ueberzeugung geführt, daß auch das mehr oder minder feste Einspannen des Papiers von Einfluß sein werde, was durch Versuche durchaus bestätigt worden ist, welche von dem zu seiner Ausbildung in der Papierprüfungsabtheilung als Hülfsarbeiter beschäftigten Herrn Hernstadt mit Apparat I ausgeführt wurden. Man erhielt die folgenden Mittelwerthe:

1. Aus 22 Versuchen lose eingespannt: p = 6,3; f = 2,56
2. Aus 44 Versuchen fest eingespannt: p = 4,5; f = 1,29

1 bezogen auf 2 gleich 100 gesetzt: p = 140; f = 198.

Also auch hier ist der Einfluß auf den Durchbiegungspfeil ganz wesentlich größer, als derjenige auf die zum Durchstoßen erforderliche Kraft. Es ist aber außerdem, wie es scheint, der Einfluß ungenügender Festklemmung der Papiere auf das Versuchsergebniß wesentlich größer als derjenige einer Klemmung an falscher Stelle, und man hat deswegen bei der Benutzung des Rehse'schen Apparates vor allen Dingen großen Werth darauf zu legen, daß die Tellerschraube stets gleichmäßig angezogen wird. Dem Verfertiger aber ist zu rathen, diese Schraube recht kräftig auszuführen. Auch das Nachfolgende dürfte diese Winke rechtfertigen.

Da mehrfach an mich Anfragen ergangen sind, in wie weit etwa aus den Ergebnissen des Rehse'schen Apparates auf die Festigkeitseigenschaften des Papiers, besonders auf Reißlänge und Dehnung geschlossen werden könne, so habe ich in Tab. O (S. 30) die Verhältnißzahlen zwischen den Ergebnissen beider Apparate eingefügt, um sofort in die Augen springen zu lassen, daß ein derartiger einfacher Vergleich nicht möglich ist und daß verschiedene nicht völlig gleich ausgeführte Apparate (I und II) in den Händen verschiedener Beobachter verschiedene Werthe für dieses Verhältniß liefern dürften. Man erkennt ohne Weiteres, daß die Zahl c/a einer wesentlich geringeren Schwankung unterworfen ist als d/b, wie dies ja nach dem Voraufgehenden wohl zu erwarten war. Ferner ergiebt sich, daß das Verhältniß c/a mit abnehmender Reißlänge im Allgemeinen abzunehmen scheint. Während die Kraftablesung am Rehse'schen Apparat (Reihe c) mit fallender Reißlänge zurückgeht, scheint die Pfeilhöhe der Kuppe (Reihe d) für alle Papiere nahezu gleich zu sein, trotz der großen Verschiedenartigkeit der letzteren. Die Unterschiede zwischen der Reihe I und II müssen vorwiegend auf den Umstand zurückgeführt werden, daß bei Reihe II auf sorgfältiges und recht festes Einspannen gesehen wurde, während dies bei Reihe I nicht besonders vermerkt worden ist. Auch die vorbetonte Verschiedenartigkeit der Apparate kann von Einfluß gewesen sein, aber mehr noch wird als Fehlerquelle die Geschwindigkeit auftreten, mit welcher der Versuch durchgeführt wird. Man muß also auch in dieser Beziehung, wie übrigens bei jedem Prüfungsapparat, auf ein sehr gleichmäßiges Arbeiten achten, wenn man selbst mit ein und demselben Apparat gleichmäßige Ergebnisse erzielen will. Eine zweckmäßige Geschwindigkeit wird bei 5—6 Umdrehungen in der Minute erzielt.

Digitized by Google

Tabelle N.

Untersuchung über den Zuverlässigkeitsgrad der Ergebnisse mit dem Rehse'schen Papierprüfer.

Versuch Nr.	Papier A			Papier B			Papier C			Papier D			Papier E			Papier F			Gesammtergebnisse aus allen 6 Reihen. Summe der Fehlerquadrate. Mittlerer Fehler einer Bestimmung. Verhältniß $100 \cdot \frac{a}{b}$
	Abweichungen vom Mittel		Fehlerquadrate in %²	Abweichungen vom Mittel		Fehlerquadrate in %²	Abweichungen vom Mittel		Fehlerquadrate in %²	Abweichungen vom Mittel		Fehlerquadrate in %²	Abweichungen vom Mittel		Fehlerquadrate in %²	Abweichungen vom Mittel		Fehlerquadrate in %²	
	nach Tabelle	in %		nach Tabelle	in %		nach Tabelle	in %		nach Tabelle	in %		nach Tabelle	in %		nach Tabelle	in %		
A. Untersuchung der Werthe von p.																			
a) Außen eingespannt.																			
Mittelwerthe von p	12,62	—	—	10,97	—	—	5,81	—	—	5,04	—	—	3,70	—	—	8,11	—	—	
1	+0,18	+ 1,42	196	+0,33	+ 3,01	900	−0,01	− 0,17	4	−0,14	− 2,78	784	0,00	0,00	0	+0,59	+ 7,27	5329	
2	+1,38	+10,90	11881	+0,63	+ 5,74	3249	+0,49	+ 8,42	7056	+0,26	+ 5,16	2764	−0,40	−10,80	11664	−0,01	− 0,12	1	
3	+0,38	+ 3,00	900	−1,87	− 17,05	29241	−1,01	− 17,40	30276	+0,06	+ 1,19	144	+0,10	+ 2,70	729	+0,59	+ 7,27	5329	
4	+0,18	+ 1,42	196	+0,33	+ 3,01	900	−0,31	− 5,33	2809	−0,24	− 4,76	2304	−0,10	− 2,70	729	−0,61	− 7,51	5625	
5	−0,72	− 5,70	3249	+0,63	+ 5,74	3249	+0,49	+ 8,42	7056	−0,04	− 0,79	64	−0,10	− 2,70	729	−0,01	− 0,12	1	
6	+0,18	+ 1,42	196	+0,63	+ 5,74	3249	−0,61	−10,50	11025	−0,44	− 8,75	7744	−0,20	− 5,40	2916	−0,81	− 9,97	10000	
7	−0,22	− 1,74	289	−0,57	− 5,19	2704	−0,21	− 3,61	1296	−0,14	− 2,78	784	+0,40	+10,80	11664	−0,31	− 3,82	1444	
8	+0,53	+ 4,58	2116	+0,73	+ 6,64	4356	+0,59	+10,15	10404	+0,26	+ 5,16	2704	0,00	0,00	0	−0,61	− 7,51	5625	
9	−1,32	−10,40	10816	−0,57	− 5,19	2704	+0,19	+ 3,27	1089	+0,16	+ 3,18	1024	+0,30	+ 8,10	6561	−0,01	− 0,12	1	
10	−0,62	− 4,90	2401	−0,27	− 2,47	625	+0,39	+ 6,71	4489	+0,26	+ 5,16	2704	0,00	0,00	0	+1,19	+14,65	21609	
Summe			32240			51177			75504			21020			34932			54964	269897
Mittlerer Fehler einer Bestimmung des Mittels		± 5,99 ± 1,89			± 7,54 ± 2,38			± 9,15 ± 2,89			± 4,83 ± 1,53			± 6,23 ± 1,97			± 7,82 ± 2,47		± 6,76 111
b) Innen eingespannt.																			
Mittelwerthe von p	12,08	—	—	10,57	—	—	6,13	—	—	5,07	—	—	3,78	—	—	7,85	—	—	
1	+0,12	+ 0,99	100	+0,13	+ 1,23	144	+0,57	+ 9,30	8649	+0,23	+ 4,54	2025	− 0,28	− 7,41	5476	−0,45	− 5,74	3249	
2	+0,12	+ 0,99	100	+0,13	+ 1,23	144	−0,63	− 10,25	10609	−0,37	− 7,32	5329	0,28	− 7,41	5476	+0,25	+ 3,19	1024	
3	+0,82	+ 6,77	4624	+0,43	+ 4,07	1681	−0,03	− 0,49	25	+0,23	+ 4,54	2025	+0,02	+ 0,53	25	+0,15	+ 1,91	361	
4	+0,32	+ 2,64	676	+0,43	+ 4,07	1681	−0,13	− 2,12	441	−0,47	− 9,29	8649	+0,02	+ 0,53	25	−1,05	− 13,35	17956	
5	−0,78	− 6,44	4096	−0,97	− 9,20	8464	−0,23	− 3,75	1444	+0,13	+ 2,57	676	+0,02	+ 0,53	25	+0,75	+ 9,52	9025	
6	−0,48	− 3,96	1600	+0,13	+ 1,23	144	+1,47	+ 23,90	57121	+0,53	+ 10,45	11025	+0,42	+ 11,10	12321	+0,25	+ 3,19	1024	
7	+0,42	+ 3,47	1225	−0,17	− 1,61	256	−0,63	− 10,25	10609	−0,37	− 7,32	5329	+0,12	+ 3,17	1024	+0,15	+ 1,91	361	
8	+0,32	+ 2,64	676	−0,17	− 1,61	256	−0,03	− 0,49	25	−0,07	− 1,38	196	+0,22	+ 5,82	3364	−0,05	− 0,64	36	

10	−0,19	−	0,44	4936	−0,09	−	0,28	9	−0,23	−	3,79	1444	+0,13	+	2,54	676	−0,38	−	10,03	10000	+0,13	+	1,91	361
Summe				17242				12788				80808				35966				38760				33758
Mittlerer Fehler einer Bestimmung		±	4,38			±	3,77			±	9,47			±	6,32			±	6,56			±	6,13	
des Mittels		±	1,39			±	1,19			±	3,00			±	2,00			±	2,08			±	1,94	

Summe				219322
Mittlerer Fehler einer Bestimmung		±	6,10
des Mittels		±	1,00

B. Untersuchung der Werthe von f.

a) Außen eingespannt.

Mittelwerthe von f	1,02	—	—	1,08	—	—	0,95	—	—	1,04	—	—	0,74	—	—	0,97	—	—	
1	−0,14	− 13,7	18769	+0,14	+ 13,0	16900	+0,06	+ 6,3	3969	−0,09	− 8,7	7569	+0,06	+ 8,1	6561	−0,09	− 9,3	8649	
2	+0,18	+ 17,6	30976	+0,03	+ 2,8	784	−0,01	− 1,1	121	−0,01	− 1,0	100	+0,06	+ 8,1	6561	−0,01	− 1,0	100	
3	+0,11	+ 10,8	11664	−0,03	− 2,8	784	−0,01	− 1,1	121	−0,01	− 1,0	100	−0,04	− 5,4	2916	−0,10	− 10,3	10609	
4	+0,08	+ 7,8	6084	−0,11	− 10,2	10404	−0,10	− 10,5	11025	+0,06	+ 5,8	3364	−0,04	− 5,4	2916	−0,02	− 2,1	441	
5	−0,02	− 2,0	400	−0,02	− 1,9	361	+0,05	+ 5,2	2704	+0,01	+ 1,0	100	−0,01	− 1,4	196	+0,06	+ 6,2	3844	
6	−0,01	− 1,0	100	0,00	0,0	0	+0,10	+ 10,5	11025	+0,01	+ 1,0	100	−0,19	− 25,7	66049	+0,08	+ 8,2	6724	
7	0,00	0,0	0	+0,04	+ 3,7	1369	+0,10	+ 10,5	11025	−0,01	− 1,0	100	+0,01	+ 1,4	196	+0,03	+ 3,1	961	
8	−0,02	− 2,0	400	+0,04	+ 3,7	1369	−0,02	− 2,1	441	+0,09	+ 8,7	7569	−0,01	− 1,4	196	+0,03	+ 3,1	961	
9	−0,12	− 11,7	13689	+0,02	+ 1,9	361	−0,04	− 4,2	1764	−0,04	− 3,8	1444	+0,21	+ 28,4	80656	−0,06	− 6,2	3844	
10	−0,09	− 8,8	7744	−0,07	− 6,5	4225	−0,15	− 15,8	24964	−0,01	− 1,0	100	−0,09	− 12,2	14884	+0,03	+ 3,1	961	
Summe			89826			36557			67159			20546			181131			37094	432313
Mittlerer Fehler einer Bestimmung		±	9,99		±	6,37		±	8,64		±	4,77		±	14,20		±	6,42	± 8,56
des Mittels		±	3,16		±	2,02		±	2,73		±	1,51		±	4,49		±	2,03	96

b) Innen eingespannt.

Mittelwerthe von f.	0,78	—	—	0,89	—	—	0,83	—	—	0,92	—	—	0,72	—	—	0,85	—	—	
1	0,00	0,0	0	+0,02	+ 2,3	529	+0,03	+ 3,6	1296	−0,07	− 7,6	5776	−0,09	− 12,5	15625	+0,05	+ 5,9	3481	
2	+0,01	+ 1,3	169	+0,01	+ 1,1	121	+0,07	+ 8,4	7056	−0,05	− 5,4	2916	0,00	0,0	0	+0,06	+ 7,1	5041	
3	+0,02	+ 2,6	676	+0,08	+ 9,0	8100	0,00	0,0	0	+0,08	+ 8,7	7569	+0,02	+ 2,8	784	−0,06	− 7,1	5041	
4	+0,12	+ 15,4	23716	+0,04	+ 4,5	2025	+0,04	+ 4,8	2304	0,00	0,0	0	−0,02	− 2,8	784	+0,09	+ 10,6	11236	
5	−0,15	− 19,2	36864	−0,08	− 9,0	8100	+0,03	+ 3,6	1296	−0,01	− 1,1	121	+0,18	+ 25,0	62500	+0,08	+ 9,4	8836	
6	0,00	0,0	0	−0,07	− 7,9	6241	+0,13	+ 15,6	24336	+0,13	+ 14,2	20164	+0,03	+ 4,2	1764	−0,07	− 8,2	6724	
7	−0,07	− 9,0	8100	+0,02	+ 2,3	529	−0,15	− 18,1	32761	−0,05	− 5,4	2916	+0,03	+ 4,2	1764	−0,04	− 4,7	2209	
8	+0,02	+ 2,6	676	+0,01	+ 1,1	121	+0,09	+ 10,8	11664	−0,09	− 9,8	9604	−0,07	− 9,7	9409	−0,08	− 9,4	8836	
9	+0,04	+ 5,1	2601	0,00	0,0	0	−0,04	− 4,8	2304	0,00	0,0	0	+0,03	+ 4,2	1764	+0,03	+ 3,5	1225	
10	−0,04	− 5,1	2601	−0,08	− 9,0	8100	−0,18	− 21,7	47089	+0,01	+ 1,1	121	−0,12	− 16,7	27889	−0,07	− 8,2	6724	
Summe			75403			33866			130106			49187			122283			59353	470198
Mittlerer Fehler einer Bestimmung		±	9,15		±	6,14		±	12,00		±	7,39		±	11,70		±	8,19	± 8,93
des Mittels		±	2,89		±	1,94		±	3,80		±	2,34		±	3,69		±	2,59	100

Digitized by Google

Tabelle O. — Gegenüberstellung von Ergebnissen mit dem Hartig-Reusch'schen und dem Rehse'schen Apparat.

Zum Vergleich wurden nachgenannte Schreibpapiere benutzt.

Bezeichnung	Klasse	Zusammensetzung; wenn zu Klasse II–IV gehörig (A = Asche)	Ergebnisse mit dem Apparat von					
			Hartig-Reusch		Rehse		Verhältnißzahlen	
			Reißlänge in km a	Dehnung in % b	Kraftablesungen c	Pfeilhöhe der Kuppe d	c/a	d/b
I. Beobachter: Hernstadt. Apparat I.								
1			4,42	3,5	11,6	2,7	2,63	0,77
2			4,42	3,4	12,0	2,6	2,72	0,77
3			3,86	3,9	9,1	2,3	2,35	0,59
4			3,80	2,9	9,1	2,6	2,39	0,90
5			3,73	3,8	9,4	2,6	2,52	0,69
6			3,59	3,4	6,2	2,7	1,73	0,79
7			3,59	2,4	6,4	1,7	1,78	0,71
8			3,53	2,8	8,8	2,2	2,49	0,79
9			3,53	2,4	8,7	2,3	2,47	0,96
10			3,43	2,7	7,1	1,8	2,07	0,67
11			3,42	2,4	7,0	2,7	2,05	1,13
12			3,35	2,3	6,2	2,7	1,85	1,17
13			2,82	2,6	6,6	2,5	2,35	0,96
14			2,37	1,7	4,4	2,1	1,86	1,23
II. Beobachter: Martens. Apparat II.								
A	I 1		6,18	4,8	12,1	0,8	1,96	0,17
B	I 2		5,24	4,5	10,6	0,9	2,03	0,20
C	I 4		3,73	3,6	6,1	0,8	1,64	0,22
D	III 4	Stroh- u. Holzcellulose, ger. Menge Baumwolle u. Leinen A=10,3%	3,52	3,5	5,1	0,9	1,45	0,27
E	IV 6	Holzschliffu. Holzcellulose A=19,75%	3,01	1,6	3,8	0,7	1,26	0,44

Aus den über den Rehse'schen Apparat mitgetheilten Untersuchungsergebnissen wird man erkennen, daß, wie früher bereits bemerkt, dieses handliche Instrument allerdings sehr wohl geeignet sein wird, über die Gleichwerthigkeit verschiedener Papierlieferungen in Bezug auf ihre Festigkeit schnellen Aufschluß zu geben, daß es aber nicht wohl angängig ist, aus den Ergebnissen einen sicheren Schluß auf Reißlänge und Dehnbarkeit des Papieres zu ziehen. Die Ergebnisse dürften bei gleichmäßigem Papier bei sorgfältiger Handhabung des Instrumentes und bei Bildung eines Mittelwerthes aus je 5 Versuchen mit Fehlern von weniger als 5% des Mittelwerthes behaftet sein, worin die im Papier selbst liegenden Zufälligkeiten eingerechnet sind.

3. Untersuchung eines Wendler'schen Papierprüfers.

Die Anregung zu der Construction des Wendler'schen Apparates hat meine Veröffentlichung über die „Grundsätze für die Construction von Festigkeitsprüfungs-Apparaten für Papier" gegeben*), welche auch den damals als Volontär in der Papierprüfungs-Abtheilung beschäftigten Herrn Wendler veranlaßte, sich mit der Herstellung eines einschlägigen Apparates zu befassen.

Der Apparat ist auf Taf. III abgebildet und zwar ist zugleich die Art angegeben, in welcher zwei für die Versuchsanstalt beschaffte Stücke desselben für einen Antrieb mittelst Wassermotors von Möller & Blum in Berlin eingerichtet sind.**)

*) „Papierzeitung" 1886 Nr. 40. — „Central-Zeitung für Optik und Mechanik" 1886 S. 229.

**) Aehnlich hatte bereits Prof. Hartig einen neuen Lenner'schen Apparat angetrieben.

Digitized by Google

Die Kraftmessung geschieht mittelst Spiralfedern, die aber nicht, wie bei dem Hartig-Reusch'schen Apparat, zwischen Probestück und Antriebsvorrichtung, sondern zwischen ersterem und dem festen Maschinengestell angebracht werden, wobei die Befestigung schnell und leicht mittelst Bajonnetverschluß durch eine halbe Umdrehung der Feder um ihre Achse erfolgt, nachdem zuvor die beiden schwachen Spannfedern zusammengedrückt waren, um die Haltestifte in ihre Einschnitte zu bringen. Die eine Federbrücke wird auf diese Weise mit einer Hülse des Maschinengestelles, die andere mit dem Wagen des Apparates verbunden. Dieser Wagen dient zur sicheren und möglichst reibungsfreien Führung der mit ihm vereinigten Theile, nämlich des einen Einspannmaules für den Probestreifen und des Mitnehmers für einen Schleppzeiger. Der Wagen ist noch mit einer nach hinten durchgehenden Führungsstange versehen, welche auf einer kleinen Rolle am Maschinengestell läuft. Diese Stange ist an der Oberseite mit Zähnen versehen, in welche die Sperrklinken eingreifen, welche das Zusammenschnellen der Meßfeder nach dem Zerreißen des Papiers zu verhüten haben.

Der Antrieb erfolgt durch eine Schraube mittelst einer mit dem Handrad verbundenen Mutter. Die Antriebsvorkehrung wird in drei Formen ausgeführt, nämlich mit fest mit dem Handrad vereinigter Mutter, mit ausrückbarer Mutter und mit Schneckenantrieb. Die letzten beiden Einrichtungen sind auf Taf. III zur Darstellung gekommen. Die erste Einrichtung sollte man füglich fallen lassen, da die geringen Mehrkosten, welche die auslösbare Mutter veranlaßt, durch die erreichte Bequemlichkeit und Schnelligkeit der Arbeit bald aufgewogen ist. Der Schneckenantrieb war bei dem zur Prüfung eingereichten Apparat unbequem und sehr ermüdend, weil das gewählte Uebersetzungsverhältniß ein viel zu großes war; für den Antrieb durch einen Motor, wie er für die Versuchs-Anstalt angewendet worden war, ist das Uebersetzungsverhältniß ausreichend.

Die Antriebsschraube ist mit einem Gleitstück verbunden, welches auf den gehobelten Schienen für den Wagen geführt ist und das zweite Einspannmaul für die Probestreifen trägt. Zugleich sind unten an das Gleitstück zwei Pfannen für die Aufnahme eines Controlhebels angebracht, mit dessen Hülfe die Federausdehnungen für verschiedene Kraftäußerungen gemessen werden. Zu dem Zweck wird der senkrechte Schenkel des gleichschenkligen Winkelhebels durch eine Zugstange mit dem am Wagen befindlichen Einspannmaul verbunden, während an den wagerechten eine leichte Wagschale angehängt wird, auf welche die Belastungsgewichte aufgesetzt werden. Der Winkelhebel wird mittelst der Antriebsschraube entsprechend der Federdehnung vorangewegt, bis er in seine Anfangslage zurückgekehrt ist und vollkommen freischwebt.

Inzwischen hat der Wagen durch einen Mitnehmer einen auf den Führungsschienen für den Wagen aufliegenden Schleppzeiger um den der angewendeten Schalenbelastung entsprechenden Betrag (abzüglich der Reibungswiderstände) verschoben. Die Größe dieser Verschiebung kann mit Hülfe der am Schleppzeiger angebrachten Marke an einem am Maschinengestell einstellbar befestigten Maßstabe abgelesen werden. Für jede Feder ist ein solcher Maßstab vorhanden, welcher den Federwerthen entsprechend in Kilogramme und deren Bruchtheile getheilt ist. Bei der Ermittelung der Theilungswerthe für diese Maßstäbe wurde an deren Stelle ein Millimetermaßstab eingespannt und an diesem in fünf Beobachtungsreihen für jede Feder die in Tab. P eingetragenen Federdehnungen abgelesen. Vor jeder Beobachtungsreihe wurde die Feder aus der Maschine entfernt und neu wieder eingesetzt, um auf diese Weise auch alle diejenigen Fehlerquellen zu berücksichtigen, welche in der mehr oder minder guten Befestigung der Feder liegen könnten.

Hier ist zu bemerken, daß in den beiden kleinen Gegenfedern, welche die stetige Anlage der beiden Federbrücken an die Befestigungsstifte sichern sollen, unter Umständen eine solche

Digitized by Google

Fehlerquelle gegeben sein kann. Wenn nämlich diese Federn so schwach sind, daß sie die Reibung der Brücken auf ihren Lagerflächen nicht überwinden können, so könnte bei der Nullbelastung die Federbrücke nicht zur Anlage kommen. Tritt dieser Fehler nun bei der ersten Einstellung des Maßstabes ein, so wird dieser Maßstab gegen die richtige Lage um ein bestimmtes Maß verschoben und ein constanter Ablesungsfehler würde die Folge sein. Sind aber die beiden Gegenfedern zu stark, so kann einerseits ein Zwang auf die Meßfedern ausgeübt werden, andererseits ist aber das Einspannen der Feder mehr als wünschenswerth erschwert, indem man die Gegenfedern jedesmal zusammendrücken muß, um die Meßfeder aus ihren Bajonnetverschlüssen zu lösen oder sie in dieselben einzulegen. Der zuerst genannte Fehler kann durch passende Federstärke ganz vermieden werden, wobei der zweite zugleich seinen kleinstmöglichen Betrag erhalten kann.

Bei der Anbringung und richtigen Einstellung der Maßstäbe verfährt man zweckmäßig jedesmal so, daß man nach Auslösung der beiden Sperrklinken der Zahnstange dem Wagen mehrmals einen leichten Stoß nach vor- oder rückwärts giebt, den Schleppzeiger alsdann mit leichtem Druck bis zur Berührung mit dem Mitnehmer bringt und dann den Maßstab so feststellt, daß sein Nullpunkt mit der Zeigermarke zusammen fällt. Wiederholt man jetzt das Anstoßen des Wagens u. s. w., so wird man finden, daß die Zeigermarke nunmehr nur noch um Bruchtheile eines Millimeters sich rechts oder links vom Nullstrich des Maßstabes einstellt. Diese kleinen Abweichungen sind durch die Reibung des Wagens veranlaßt. Diese Reibung, einschließlich derjenigen des Schleppzeigers, ist von geringem Betrage. Bei der stattgehabten Art der Bestimmung der Maßstabtheilung kommt sie nicht in Betracht, dagegen ist sie enthalten in der Bestimmung der Nullpunktslage gegen die Theilstriche des Maßstabes. Demgemäß ist jeder Versuch mit einem constanten Fehler behaftet, welcher durch entsprechende Verlegung der Lage des Nullstriches gegen die übrigen Theilstriche in der Hauptsache hätte vermieden werden können. Hierdurch wäre aber die praktische Benutzung des Apparates erschwert, wenn man nicht zu dem Kunstgriff schreiten wollte, neben dem Nullpunkt eine zweite Einstellmarke anzubringen, welche gegen den Nullpunkt um den mittleren Betrag der Reibung verschoben ist. Für die Folge wird hierauf Rücksicht genommen werden, obwohl der Betrag der Reibung so gering ist, daß er für den praktischen Gebrauch auch bei der schwachen Feder füglich vernachlässigt werden darf. Versuche an mehreren Apparaten Wendler'scher Construction haben ergeben, daß man den mittleren Betrag der Reibung zwischen 50—75 g annehmen darf; das würde bei einer Bruchbelastung von nur 4 kg einen Fehler von etwa 1,2—1,9 % ausmachen.

Der Schleppzeiger besteht aus zwei kleinen Messingblöckchen, die durch einen starken Stahldraht mit einander verbunden sind. Der eine Block trägt die schon beschriebene, der andere eine zweite Zeigermarke, welche an dem mit dem Gleitstück des Antriebes verbundenen Dehnungsmaßstabe die unter der Belastung stattgefundene Dehnung des Papierstreifens in Prozenten, bezogen auf eine ursprüngliche Streifenlänge von 180 mm, anzeigt. Die Entfernung der beiden Zeigermarken am Maßstab ist so gewählt, daß bei Einstellung derselben auf die zugehörigen Maßstabnullpunkte die Entfernung der Vorderkanten der beiden Einspannmäuler genau 180 mm beträgt, wovon man sich von Zeit zu Zeit, am sichersten durch Einlegen eines aus starkem Draht hergestellten Stichmaßes, überzeugt. Bei den in der Versuchs-Anstalt geprüften Apparaten werden übrigens auf dem Verbindungsdraht Ringmarken eingerissen, welche eine etwaige Verschiebung sofort erkennen lassen würden. Richtiger würde es freilich sein, wenn die Möglichkeit einer Verschiebung durch Befestigung mittelst eingebohrter Stifte überhaupt ausgeschlossen würde. Der Dehnungsmaßstab ist mit einer Untertheilung versehen, wie die folgende Figur 6 zeigt, welche

Digitized by Google

auch in dem Falle eine Ablesung der Nullstellung gestattet, wenn der Streifen ein klein wenig kürzer eingespannt ist, als 180 mm. Der Umstand, daß der Streifen nicht ganz genau der vorgeschriebenen Länge entspricht, wird sich auch bei größter Achtsamkeit nicht ganz vermeiden lassen; er wird aber thunlichst unschädlich gemacht, indem man die ursprüngliche Einstellung des Dehnungsmaßstabes jedesmal vor dem Versuch ablest, nachdem man den Streifen vorher mit einer ganz geringen Kraft gespannt hat. Dieser Anfangsspannung kann man leicht einen bestimmten Betrag geben, wenn man auf den Kraftmaßstäben neben der Nullmarke einen Punkt angiebt, bis zu welchem die Feder gespannt sein soll, bevor man die erste Ablesung am Dehnungsmaßstabe macht. Es wird sich zur Erzielung einer Gleichförmigkeit aller Untersuchungen mit dem Wendler'schen Apparat empfehlen, für die Anfangsspannung etwa die Hälfte einer Theilung des betreffenden Kraftmaßstabes zu wählen, was für die 7 kg-Feder einer Anfangsspannung von 0,05 kg für die 18 kg-Feder einer solchen von 0,10 kg entsprechen würde. Die Anfangs-Ablesung vom Dehnungsmaßstab hat man selbstverständlich bei der Dehnungsbestimmung zu berücksichtigen und zwar würde man die Ablesungen unter 0 zu der Schlußablesung hinzuzufügen, diejenigen über 0 in Abzug zu bringen haben.

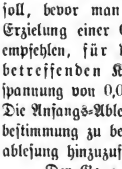


Fig. 6.

Der Gang der Papierprüfung ergiebt sich aus Vorbesprochenem von selbst; es ist hier nur zu bemerken, daß beim Bruch des Streifens mit dem Drehen des Handrades sofort inne gehalten werden muß und daß man alsdann an der Stellung des Schleppzeigers zu den beiden Maßstäben einerseits die zum Zerreißen erforderliche Kraft in kg und andererseits die erzielte Dehnung in Prozenten ablesen kann. Alle Messungen an Schaulinien sind vermieden; zugleich entfallen jene Fehlerquellen, welche durch den Zeichenapparat und durch das Ausmessen der Schaulinie bedingt sind. Der Apparat ist deswegen für den praktischen Gebrauch bequemer als selbstzeichnende Apparate. Dahingegen haben letztere die unbestreitbaren Vorzüge, daß ihre Ergebnisse unverwischbar aufgezeichnet, später jeden Augenblick zur Verfügung sind und daß sie aus dem Verlauf der Schaulinie einen sehr klaren Einblick in das allgemeine Verhalten des untersuchten Körpers geben. Da man letztere Möglichkeit für Papierprüfungen in der Regel wird entbehren können, so hat man sich bei Auswahl der Apparate in erster Reihe darüber klar zu werden, ob man der jedesmaligen Kontrolirbarkeit des Ergebnisses, oder der schnelleren und einfacheren Handhabung den Vorzug geben darf.

Sehr sorgfältige Versuche haben die Ueberzeugung geliefert, daß das Einspielen des Wagens auf seine Nullstellung recht befriedigend ist. Diese Versuche sind ausgeführt, indem man den Wagen nach dem Ausheben und Festhalten der Sperrklinken um etwa 5 mm nach der einen oder der anderen Richtung mit der Hand vorzog und zurückschnellen ließ. Bei zehnmaliger Wiederholung dieses Spiels erhielt man die in Tab. P (S. 34) wiedergegebenen Ablesungen an einem an Stelle des Kraftmaßstabes willkürlich befestigten Millimeterstabe, wobei jedesmal der Schleppzeiger bis zur leisen Berührung mit dem Mitnehmer vorangeschoben wurde.

Ferner wurde durch zahlreiche Versuche ermittelt, daß man mit größter Aufmerksamkeit an den untersuchten Apparaten eine Verschiebung des Schleppzeigers in Folge des bei dem Zerreißen des Probestreifens auftretenden Stoßes nicht nachweisen kann. Zu diesem Zwecke wurde nach dem Ausheben des einen Sperrkegels ein sehr festes Papier mit der 18 kg-Feder stark angespannt, sodaß der Sperrkegel kurz vor der Spitze eines Zahnes der Zahnstange stand; die Einstellung des Maßstabes wurde genau abgelesen, und während man nun

Digitized by Google

mit scharfem Messer den Streifen zerschnitt, wurde der Schleppzeiger genau beobachtet. Es wurde also bei der Untersuchung der stärkste Stoß erzeugt, der in der Maschine vorkommen kann.

Tabelle P.

Versuch Nr.	7 kg-Feder Nr. 1 Ablesung am Maßstab mm	7 kg-Feder Nr. 1 Abweichung vom Mittel mm	18 kg-Feder Nr. 2 Ablesung am Maßstab mm	18 kg-Feder Nr. 2 Abweichung vom Mittel mm	
1	5,7	+ 0,19	1,9	+ 0,05	Die ermittelten Abweichungen würden entsprechen einem Fehler von: Für Feder Mittel Maximum Nr. 1 = 0,001 kg = 0,024 kg Nr. 2 = 0,009 kg = 0,009 kg
2	5,4	— 11	1,8	— 5	
3	5,5	— 1	1,9	+ 5	
4	5,2	— 31	1,8	— 5	
5	5,3	— 21	1,8	— 5	
6	5,1	— 41	1,8	— 5	
7	6,0	+ 39	1,8	— 5	
8	5,7	+ 19	1,9	+ 5	
9	5,5	— 1	1,9	+ 5	
10	5,7	+ 19	1,9	+ 5	
Summe	55,1	2 02	18,5	0,50	
Mittel	5,51	0,20	1,85	0,05	
Maximum	—	0,41	—	0,05	
Minimum	—	0,01	—		

Die Untersuchung des zur Prüfung eingelieferten Wendler'schen Apparates ist in ganz ähnlicher Weise durchgeführt, wie sie bei dem Hartig-Reusch'schen bereits ausführlich beschrieben ist; es erübrigt hier nur, die folgenden Tab. Q und R (S. 35) mitzutheilen.

Tabelle Q. Vergleich der Maßstäbe mit den ermittelten Werthen (Tab. R.)

	Feder Nr. 1 für 7 kg Leistung. Tabelle D 1			Feder Nr. 2 für 18 kg Leistung. Tabelle D 2		
Für die Belastungen	0	1	7,0	0,00	4	18
Ermittelter Maßstab	0,00	13,24	113,68	0,00	19,18	98,56
Gelieferter Maßstab	0,00	13,22	113,72	0,00	19,23	98,41
Abweichung vom ermittelten Maßstab .	0,00	— 0,02	+ 0,04	0,00	+ 0,05	+ 0,05

Die Uebereinstimmung der gelieferten Maßstäbe mit den ermittelten ist also völlig zufriedenstellend.

Die mikrometrische Vergleichung des Dehnungsmaßstabes hat ergeben, daß die Länge zwischen den Theilstrichen 0 und $10\,^0/_0 = 17{,}981$ mm ist, während diese Länge $10 \times 1{,}8 = 18{,}000$ mm betragen sollte. Die vorhandene Abweichung von — 0,019 mm kann für den praktischen Gebrauch vernachlässigt werden.

Es erübrigt nun noch auf die durch Taf. III erläuterte Einrichtung zum mechanischen Betrieb zweier Wendler'schen Apparate näher einzugehen, wie sie in der Versuchs-Anstalt ausgeführt worden ist. Um eine selbstthätige Ausrückung des Apparates zu erzielen, sobald der Streifen abreißt, habe ich die Spannkraft der Meßfeder benutzt, indem ich die feste Verbindung der Sperrkegel der Zahnstange mit dem Maschinengestell durch Einschaltung eines Zwischenhebels aufhob. Dieser Hebel muß beim Abreißen des Streifens, getrieben durch die Meßfeder, einen Ausschlag machen, bevor die Sperrung der Stange erfolgt. Er drückt auf den Kopf einer Stange, überwindet den Druck der Gegenfeder, bewegt den Sperrhebel und löst hierdurch den Winkelhebel aus, in welchem die Antriebsschnecke des Apparates gelagert ist, die alsdann durch ihr eigenes Gewicht außer Eingriff mit dem

Digitized by Google

Tabelle II. Ermittelung der Federwerthe für den Wendler'schen Apparat.

Angehängte Gewichte	Dehnungen in Millimetern bei Belastung der Federn														
	Versuchsreihe 1			Versuchsreihe 2			Versuchsreihe 3			Versuchsreihe 4			Versuchsreihe 5		
	Belastung			Belastung			Belastung			Belastung			Belastung		
	Dehnungen			Dehnungen			Dehnungen			Dehnungen			Dehnungen		
	Gesammt	Differenz	Abweichung vom Mittel	Gesammt	Differenz	Abweichung vom Mittel	Gesammt	Differenz	Abweichung vom Mittel	Gesammt	Differenz	Abweichung vom Mittel	Gesammt	Differenz	Abweichung vom Mittel
kg	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm

Feder Nr. 1 für angeblich 7 kg größte Kraftleistung.

Drahtdicke 4,5 mm; Durchmesser der Spirale im spannungslosen Zustande 96,9 mm; Zahl der Windungen bis zu den in der Versuchs-Anstalt eingefeilten Marken an den Einklemmstellen der Brücken: 8½.

0	0			0			−0,2			−0,1			+0,1		
1	13,7	13,7		13,1	13,1		13,1	13,3		13,2	13,3		12,9	12,8	
1,5	21,3	7,6		21,5	8,4		21,3	8,2		21,3	8,1		21,2	8,3	
2	29,7	8,4	+0,04	29,8	8,3	−0,09	29,8	8,5	+0,12	29,8	8,5	+0,10	29,7	8,5	+0,07
2,5	37,7	8,0	−0,36	38,1	8,3	−0,09	38,3	8,5	+0,12	38,0	8,2	−0,20	37,9	8,2	−0,23
3	46,3	8,6	+0,24	46,6	8,5	+0,11	46,6	8,3	−0,08	46,4	8,4	0,00	46,7	8,8	+0,37
4	63,2	16,9	+0,18	63,2	16,6	−0,18	63,4	16,8	+0,04	63,1	16,7	−0,10	63,3	16,6	−0,26
5	79,9	16,7	−0,02	79,9	16,7	−0,08	80,2	16,8	+0,04	79,7	16,6	−0,20	80,1	16,8	−0,06
6	96,9	17,0	+0,28	96,8	16,9	+0,12	97,0	16,8	+0,04	96,9	17,2	+0,40	97,0	16,9	+0,04
7	113,3	16,4	−0,32	113,8	17,0	+0,22	113,5	16,5	−0,26	113,7	16,8	0,00	113,9	16,9	+0,04
Gesammtsumme		113,3			113,8			113,7			113,8			113,8	
Summe der Mittelbildung		92,0			92,3			92,2			92,4			92,7	
Mittel für 0,5 kg		8,36			8,39			8,38			8,40			8,43	

Hauptmittel aus allen 5 Versuchen: für die Belastung 1 kg = 16,784 mm.

Für die spätere Benutzung der Feder ergeben sich als zulässige Grenzen für die Inanspruchnahme a) geringste Belastung = 2 kg; b) größte Belastung = 7 kg

Feder Nr. 2 für angeblich 18 kg größte Kraftleistung.

Drahtdicke 5,85 mm; Durchmesser der Spirale im spannungslosen Zustande 94,8 mm; Zahl der Windungen bis zu den in der Versuchs-Anstalt eingefeilten Marken an den Einklemmstellen der Brücken: 9.

0	0			−0,1			0			0			0		
1	4,4	4,4		4,5	4,6		4,5	4,5		4,5	4,5		4,5	4,5	
2	9,1	4,7		9,3	4,8		9,3	4,8		9,3	4,8		9,4	4,9	
3	13,8	4,7		14,2	4,9		14,2	4,9		14,2	4,9		13,8	4,4	
4	19,0	5,2		19,2	5,0		19,2	5,0		19,1	4,9		19,3	5,5	
5	24,5	5,5	0,16	24,7	5,5	0,16	25,0	5,8	+0,15	25,0	5,9	+0,24	25,0	5,7	+0,05
6	30,0	5,5	−0,16	30,3	5,6	−0,06	30,4	5,4	−0,25	30,3	5,3	−0,36	30,5	5,5	−0,15
8	41,2	11,2	−0,12	41,5	11,2	−0,12	41,6	11,2	−0,10	41,5	11,2	−0,12	41,6	11,1	−0,20
10	52,6	11,4	+0,08	52,7	11,2	−0,12	53,0	11,4	+0,10	53,0	11,5	+0,18	53,1	11,5	+0,20
12	64,2	11,6	+0,28	64,3	11,6	+0,28	64,4	11,4	+0,10	64,2	11,2	−0,12	64,5	11,4	+0,10
14	75,3	11,1	−0,22	75,6	11,3	−0,02	75,6	11,2	−0,10	75,6	11,4	+0,08	75,6	11,1	−0,20
16	86,7	11,4	+0,08	86,8	11,2	−0,12	87,0	11,4	+0,10	87,0	11,4	+0,08	87,1	11,5	+0,20
18	98,2	11,5	+0,18	98,5	11,7	+0,38	98,3	11,3	0,00	98,3	11,3	−0,02	98,4	11,3	0,00
Gesammtsumme		98,2			98,6			98,3			98,3			98,4	
Summe der Mittelbildung		79,2			79,3			79,1			79,2			79,1	
Mittel für 0,5 kg		5,66			5,66			5,65			5,66			5,65	

Hauptmittel aus allen 5 Versuchen: für die Belastung 1 kg = 5,66 mm.

Für die spätere Benutzung der Feder ergeben sich als zulässige Grenzen für die Inanspruchnahme a) geringste Belastung = 5 kg; b) größte Belastung = 18 kg.

Digitized by Google

Schneckenrade gebracht wird und hierdurch den Stillstand des Apparates bewirkt. Die übrige Einrichtung ist wohl ohne Weiteres aus der Zeichnung verständlich. Die Schnecken beider Apparate sind untereinander und mit dem Wassermotor durch Kreuzgelenkstangen verbunden, so daß die Schnecken auch im ausgerückten Zustande stets in Bewegung bleiben. Der Motor ist ein doppelcylindriger, wie er zum Betriebe größerer Nähmaschinen zu dienen pflegt. Er wird durch die städtische Wasserleitung getrieben.

4. Ueber die Zuverlässigkeit der Apparate und Festigkeitsprüfungen.

Da bei einem erheblichen Theil der Leser ein großes Interesse an der Besprechung der Zuverlässigkeitsgrenzen der Papierprüfungen vorhanden sein dürfte, so scheint es am Platze, im Anschluß an das Vorangeführte hier noch einige andere wichtige Punkte bezüglich der Festigkeitsprüfungen von Papier zu berühren. Ich glaube hierzu umsomehr verpflichtet zu sein, als mir bereits häufig und nachdrücklich Zweifel, besonders auch über die Zuverlässigkeit der Festigkeitsprüfungen ausgesprochen sind. Ein Einwand, der oft erhoben wird, ist gegen die Zuverlässigkeit der Spiralfedern als Kraftmaß gerichtet.

Obwohl es längst als Erfahrungssatz feststeht, daß gute und nicht überanstrengte Federn zuverlässige und praktisch recht fehlerfreie Meßwerkzeuge abzugeben vermögen*), so muß man doch in allen den Fällen eine achtsame Untersuchung eintreten lassen, wo die Feder ihre Kraftleistungen nicht unmittelbar und zwanglos äußert, wie dies bei den hier in Frage kommenden Papierprüfungsapparaten der Fall ist. Hier werden außer den etwa eingetretenen Veränderungen der eigentlichen Meßvorrichtung auch noch diejenigen der Uebertragungsvorrichtungen in Betracht zu ziehen sein. Wie wenig begründet die ausgesprochenen Besorgnisse, wenigstens bei sachgemäßer Behandlung der Maschine bei dem Hartig-Reusch'schen Apparat sind, möge aus der folgenden Zusammenstellung, Tabelle S, ersehen werden, in welcher die bei den wiederholten Kontrolprüfungen der Apparate gefundenen Fehler für die einzelnen Federn mitgetheilt sind. Mit nur einer einzigen Ausnahme hat sich bei allen Messungen ergeben, daß die Abweichungen von dem gelieferten Federmaßstabe immer nur geringe gewesen sind. Diese eine Ausnahme betrifft den als Nr. III bezeichneten ältesten Apparat, welcher seit Ende 1885 fast gar nicht mehr für amtliche Papierprüfungen benutzt worden ist. Man erhielt bei der Kontrolprüfung am 4. April 1885 für die 18 kg-Feder so auffallende Abweichungen, daß irgend eine besondere Störung am Apparate vermuthet werden muß, zumal eine einen Monat später stattgefundene Nachprüfung, ebenso wie die beiden ersten Untersuchungen, ein wesentlich günstigeres Ergebniß lieferte. Leider hat der Assistent es verabsäumt, die Ursachen dieser auffallenden Abweichungen aufzusuchen und zu protokolliren. Schließt man diese Messungsreihe aus und bildet man aus den übrigen Werthen die Mittel, so erhält man die in Tab. S (S. 38/39) fettgedruckten Zahlen. Aus letzteren darf man wegen des meist einseitigen Vorwiegens des positiven oder negativen Vorzeichens annehmen, daß die ursprüngliche Bestimmung der Maßstabtheilungen bezüglich der Nullpunktslage nicht ganz genau gewesen sein muß. Ein eigentlicher Theilungsfehler, also eine falsche Bestimmung der Federdehnung für 1 kg, scheint in keinem Falle vorzuliegen, denn dann müßten die Abweichungen von dem betreffenden Maßstabe proportional wachsen oder abnehmen, was wohl aus keiner der fettgedruckten Reihen sich ableiten lassen dürfte. Aus diesem Grunde wird es auch zulässig

*) Als neuestes, höchst beachtenswerthes Urtheil über den Werth der Feder als Meßwerkzeug muß man die Auslassungen von Kohlrausch über die Verwendung von Spiralfedern in Meßinstrumenten und die Genauigkeit der mit Spiralfedern arbeitenden Galvanometer — Elektrotechnische Zeitschrift 1886 S. 323 — bezeichnen.

Digitized by Google

sein, daß man für die einzelnen Federn aus den vorgenannten Reihen Hauptmittel bildet, welche alsdann den wahrscheinlichsten Fehlerbetrag angeben würden, um welchen man den Nullstrich des betreffenden Maßstabes zu verschieben hätte, damit bei späteren Beobachtungen noch geringere Abweichungen gefunden werden. Diese Hauptmittel sind in Tabelle S eingetragen; man erkennt aus ihnen, wie außerordentlich gering bei Anwendung von Federn die Fehler der Kraftbestimmungen selbst dann werden, wenn die Uebertragung durch eine complicirte Einrichtung, wie beim Hartig-Reusch'schen Apparat, geschieht. Die unterste Reihe der Zahlengruppen in Tabelle S giebt den gefundenen mittleren Fehler in Procenten der zugehörigen Belastung an; man erhält hierbei selbstverständlich Zahlen, welche mit wachsender Belastung erheblich abnehmen, welche aber beweisen, daß der verhältnißmäßige Fehler bei den gebräuchlichen Federdehnungen eine praktisch kaum in's Gewicht fallende Größe ist, denn man wird die 4 kg-Feder in der Regel wohl nur zwischen 2 und 4 kg, die 9 kg-Feder zwischen 4 und 9, die 18 kg-Feder aber zwischen 8 und 18 kg benutzen. Alsdann dürften die Fehler für die beiden letzten Federn bei einem sorgfältig justirten und achtsam behandelten Hartig-Reusch'schen Apparat kaum jemals über 1 % der geäußerten Kraftwirkung steigen. Man wird sich mit dieser Genauigkeit einstweilen begnügen müssen, denn zur Zeit ist noch von keinem andern Papierprüfungsapparat der Nachweis geliefert worden, daß er bessere Ergebnisse liefert. Es ist freilich zu erwarten, daß der Wendler'sche Apparat mindestens gleiche Zuverlässigkeit ergeben wird, jedoch muß zunächst erst eine längere Dienstleistung desselben abgewartet werden, um hierüber ein endgültiges Urtheil zu gewinnen.

Für die Praxis ergiebt sich aber aus den vorstehenden Versuchen, wie wichtig es ist, von vorne herein nur zuverlässige und gute Bestimmungen der Maßstabwerthe zu machen, denn durch eine einmal richtig hergestellte Theilung ist die Gewähr für genaue Kraftbestimmung dauernd gegeben, da bei guter Behandlung des Apparates eine nachträgliche Veränderung der Federn kaum zu befürchten sein wird. Die möglichste Genauigkeit kann aber nur bei sehr sorgfältigem Vorgehen und bei peinlichster Beobachtung aller Umstände, welche zu Fehlerquellen Veranlassung geben können, erreicht werden, und es kann daher allen denen, welche Werth auf eine richtige Justirung ihrer Apparate legen, nicht dringend genug empfohlen werden, diese Bestimmungen, sowie die Prüfung des ganzen Apparates in der Versuchsanstalt vornehmen zu lassen, zumal diese Bestimmung eine umständliche ist und große Uebung im Beobachten erfordert, so daß nicht erwartet werden kann, daß an andern Orten gleich gute Ergebnisse erzielt werden.*)

Nach Vorausgehendem wird man einsehen, daß alle größeren Abweichungen in der Reißlänge bei Prüfungen an zwei verschiedenen Orten oder mit zwei verschiedenen Apparaten schließlich auf thatsächliche Unterschiede in den verglichenen Papieren zurückgeführt werden müssen, wenn sonst an beiden Orten mit gut justirten Apparaten und gleich sorgfältig gearbeitet wurde. Es muß hier aber auch noch darauf aufmerksam gemacht werden, daß sorgfältig geschnittene Streifen mit scharfen, geraden und parallelen Rändern und ohne sichtbare Fehlstellen Bedingung für einen tadellosen Versuch sind und daß die Streifengewichte sorgfältig und ohne größere Fehler zu bestimmen sind. Zu letzterem Zwecke braucht man durchaus keine theure und sehr feine Wage anzuwenden, wenn nur richtige Gewichte und eine Wage von ausreichender Empfindlichkeit zur Verfügung steht. Die Versuchsanstalt verwendet hierzu in letzter Zeit, ebenso wie zur Aschengehaltsbestimmung, kleine nach meinen Angaben abgeänderte Substitutionswagen von Reimann, Berlin S.,

*) Die Bestimmungen über die amtliche Untersuchung von Apparaten zur Papierprüfung vergl. „Mittheilungen" Jahrg. 1887 S. 1.

Digitized by Google

Tabelle 8. Prüfung der Hartig-Reusch

Apparate bezogen von

Datum	Abweichungen von den Maßst														
	I 4-kg-Feder								II 9-kg-Feder						
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
Apparat III be															
22. VIII. 1884	—	+0,02	—	+0,005	—	−0,02	—	−0,005	+0,03	—	+0,01	—	+0,02	—	0,00
25. X. 1884	—	−0 04	—	−0,02	−0,02	—	—	—	—	—	—	—	0,00	0,00	—
4. IV. 1885	—	+0,03	—	−0,09	—	+0,01	—	0,00	+0,10	—	−0,10	—	+0,05	—	+0,08
7. V. 1885	—	+0,02	—	−0,07	—	−0,03	—	−0,12	—	—	0,10	—	0,00	0,00	−0,01
Summe	—	+0,03	—	−0,13	−0,02	−0,04	—	−0,13	+0,13	—	−0,19	—	+0,07	0,00	+0,07
Mittel	—	**+0,008**	—	**−0 033**	**−0,020**	**−0,013**	—	**−0,043**	**+0,065**	—	**−0,063**	—	**+0,018**	**0,000**	**+0,023**
oder in % der zugehörigen Belastung	—	+0,80	—	−2,25	−0,80	−0,43	—	−1,07	+3,25	—	−1,57	—	+0,30	0,00	+0,29
Apparat I be															
1. VIII. 1885	−0,08	−0,06	−0,08	−0,07	−0,09	−0,06	−0,06	−0,05	0,00	0,00	−0,01	−0,01	0,00	−0,01	−0,04
20. IV. 1886	−0,05	−0,03	−0,02	0,00	−0,01	0,00	0,00	+0,01	—	—	+0,02	+0,02	+0,01	−0,01	−0,04
4. VIII. 1886	0,00	0,00	−0,01	0,00	0,00	+0,02	+0,01	+0,01	−0,01	−0,01	0,00	−0,02	0,00	0,00	0 0
Summe	−0,13	−0,09	−0,11	−0,07	−0,10	−0,04	−0,05	−0,03	−0,01	−0,01	+0,01	−0,01	+0,01	−0,02	−0,08
Mittel	**−0,043**	**−0,030**	**−0,037**	**−0,023**	**−0,033**	**−0,013**	**−0,017**	**−0,010**	**−0,005**	**−0,005**	**+0,003**	**−0,003**	**+0,003**	**−0,007**	**0,027**
oder in % der zugehörigen Belastung	−8,60	−3,00	−2,47	−1,15	−1,32	−0,43	−0,49	−0,43	−0,25	−0,17	+0,08	−0,06	+0,05	−0,10	−0,34
Apparat II be															
22. VIII. 1885	−0,04	−0,06	−0,04	0,00	+0,01	−0,01	0,02	−0,02	—	—	+0,02	+0,01	+0,01	+0,01	0,00
20. X. 1885	−0,02	−0,01	0,00	−0,02	−0,01	−0,03	0,01	—	—	—	+0,02	+0,05	+0,04	+0,05	+0,02
29. I. 1886	−0,05	−0,04	−0,04	−0,06	−0,04	−0,06	−0,05	−0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	+0,01	−0,01	0,00
20. VIII. 1886	−0,01	0,00	0,00	+0,01	0,00	+0,01	0,00	+0,01	+0,01	−0,01	+0,03	+0,03	+0,01	0,00	0,00
21. II. 1887	−0,08	−0,06	−0,05	−0,05	−0,03	−0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	+0,02	+0,01	+0,04	+0,03	0,00
Summe	−0,20	−0,17	−0,13	−0,12	0,07	0,12	−0,08	−0,03	+0,01	−0,01	+0,09	+0,10	+0,11	+0,08	+0,02
Mittel	**−0,040**	**−0,034**	**0,026**	**−0,024**	**0 014**	**0,024**	**−0,016**	**−0,006**	**+0,003**	**−0,003**	**+0,018**	**+0,020**	**+0,022**	**+0,016**	**+0,004**
oder in % der zugehörigen Belastung	−8,00	−3,40	−1,73	−1,20	−0,56	−0,80	−0,46	−0,02	+0,15	−0,10	+0,45	+0,40	+0,37	+	,05

*) Diese Versuchsreihe ist wegen der auffallend großen Fehler als unzuverlässig anzusehen; die Controle am 7.

Digitized by Google

ute der Versuchs-Anstalt.

in Dresden.

aben in kg bei der Belastung													Name des Beobachters
III 18-kg-Feder													
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
hre 1884.													
+0,08	—	+0,08	—	+0,02	—	+0,02	—	+0,08	—	+0,02	—	+0,02	Martens
0,00	—	—	—	−0,05	—	—	—	—	—	0,00	—	—	Herzberg
(0,10)	—	(+0,40)	—	(+0,40)	—	(+0,30)	—	(+0,20)	—	(+0,20)	—	(+0,10)	Merz
—	—	—	0,00	+0,01	—	0,00	—	0,00	—	−0,20	—	−0,10	Herzberg
+0,08	—	+0,08	0,00	−0,02	—	+0,02	—	+0,08	—	−0,18	—	−0,08	
+0,040	—	**+0,080**	**0,000**	**−0,007**	—	**+0,010**	—	**+0,040**	—	**−0,060**	—	**−0,040**	
+0,67	—	+1,00	0,00	−0,07	—	+0,08	—	+0,29	—	−0,40	—	−0,22	
hre 1885.													
−0,08	−0,06	−0,10	−0,10	−0,05	−0,05	−0,05	−0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Herzberg
—	0,00	−0,02	+0,01	−0,05	−0,04	−0,04	−0,06	−0,07	−0,03	−0,07	−0,09	−0,04	Merz
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Merz
−0,08	−0,06	−0,12	−0,09	−0,10	−0,09	−0,09	−0,11	−0,07	−0,03	−0,07	−0,09	−0,04	
−0,080	**−0,030**	**−0,060**	**−0,045**	**−0,050**	**−0,045**	**−0,045**	**−0,055**	**−0,035**	**−0,015**	**−0,035**	**−0,045**	**−0,020**	
−1,33	−0,43	−0,75	−0,50	−0,50	−0,41	−0,37	−0,42	−0,25	−0,10	−0,22	−0,26	−0,11	
hre 1885.													
—	—	—	−0,10	−0,10	−0,08	−0,10	−0,06	0,00	0,00	+0,12	0,00	+0,02	Merz
—	—	—	−0,05	0,00	+0,02	+0,03	−0,02	−0,01	0,00	+0,02	+0,02	+0,03	Link
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Merz
+0,01	+0,03	+0,02	+0,02	+0,02	+0,04	+0,02	+0,01	+0,03	+0,02	+0,03	+0,03	+0,03	Merz
−0,10	−0,10	−0,20	−0,10	−0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	+0,10	Bauer
−0,09	−0,07	−0,18	−0,23	−0,18	−0,02	−0,05	−0,07	+0,02	+0,02	+0,17	+0,05	+0,18	
−0,045	**−0,035**	**−0,090**	**−0,058**	**−0,045**	**−0,005**	**−0,013**	**−0,018**	**+0,005**	**−0,005**	**+0,043**	**+0,013**	**+0,045**	
−0,[illegible]50		−1,13	−0,64	−0,45	−0,45	−0,11	−0,14	+0,04	−0,03	+0,27	+0,08	+0,25	

h geringere Werthe ergeben.

Digitized by Google

Schmidstraße 32; eine solche ist in Figur 7 abgebildet; dieselbe kostet etwa 20—25 Mark und erfüllt ihren Zweck vollkommen.

Weit mehr als die Bestimmung der Reißlänge bietet die Feststellung der Dehnung Veranlassung zu Streitpunkten zwischen der Versuchs-Anstalt und denjenigen Interessenten, welche selbst Festigkeitsuntersuchungen anstellen. Hierfür giebt es mehrere Ursachen, von denen ein Theil in einer mangelhaften Erhaltung der Maschinen oder einer lässigen Versuchsausführung liegen kann, ein Theil aber aus äußeren Umständen entspringt. Ein falsches Ergebniß für die Dehnung erhält man z. B., wenn die Klemmen nicht ganz fest angezogen sind, so daß ein Nachrutschen des Streifens in den Klemmen eintreten kann. In der Regel, aber nicht immer, wird freilich hierbei der Versuch überhaupt mißlingen, indem der Streifen, ohne zu zerreißen, aus der Klemme herausgezogen wird. Sobald man Verdacht hat, daß ein solches Rutschen stattfindet, ist es zweckmäßig, durch Anzeichnen kurzer Bleistiftstriche neben die Einspannmäuler sich von der Sicherheit der Klemmung zu überzeugen. Da diese Zeichen jedoch leicht den Streifen schwächen könnten, so ist es im Allgemeinen zu rathen, sie nur ausnahmsweise anzubringen. Alle in Folge der Kraftäußerung eintretenden Biegungen und Formänderungen der Maschinentheile werden einen mehr oder minder beträchtlichen Einfluß auf die Dehnungsmessungen nehmen können. Deswegen muß man diese Theile genau beobachten und besonders darauf sehen, daß der Widerlagerbock des Hartig-Reusch'schen Apparates gehörig fest mit dem Bett der Maschine verbunden ist und daß auch die Klemme gegenüber dem Bock keine Verschiebung erfahren kann. Es muß hierauf ganz besonders aufmerksam gemacht werden, weil diese Umstände erfahrungsmäßig leicht übersehen werden. Da die Dehnbarkeit des Papiers durch die Geschwindigkeit, mit welcher die Dehnung erzeugt wird, merklich beeinflußt ist, so muß man vor allen Dingen auf ein gleichmäßiges und nicht zu schnelles Drehen des Handrades achten; eine Geschwindigkeit von etwa 10 Umdrehungen in der Minute dürfte zweckentsprechend sein. Diese Geschwindigkeit wird annähernd in der Versuchsanstalt innegehalten.

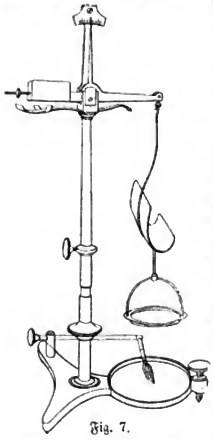


Fig. 7.

Mehr aber, als durch die vorgenannten Umstände, ist die Dehnbarkeit des Papiers durch äußere Bedingungen beeinflußt und hier ist namentlich der Feuchtigkeitszustand in Betracht zu ziehen. Man wird, wie aus den weiter unten mitgetheilten Versuchen sich ergiebt, mit Streifen, welche unmittelbar nebeneinander aus demselben Bogen entnommen sind, auch bei größter Achtsamkeit an zwei verschiedenen Prüfungsstellen keine gleichen Dehnungsergebnisse erzielen können, wenn man nicht dafür Sorge trägt, daß die Streifen an beiden Orten längere Zeit in Räumen von gleichem Feuchtigkeitsgehalt gelegen haben und in dem hierdurch erreichten gleichen Zustande zerrissen werden. Nachdem dieser Einfluß von größerer Bedeutung sein dürfte, als man ursprünglich vermuthen konnte, scheint es von der größten Wichtigkeit zu sein, nunmehr durch eingehende Versuche den Grad dieses Einflusses festzustellen. Diese Versuche erfordern jedoch, wenn sie zweckentsprechend sein sollen, einen sehr großen Umfang und viel Zeit, so daß der

Digitized by Google

Versuchs-Anstalt die Ausführung bisher leider noch nicht möglich gewesen ist, obwohl die Dringlichkeit derselben aus den in Tab. T mitgetheilten Ergebnissen einleuchten dürfte.

Tabelle T. Verhalten des Papiers im trockenen und feuchten Zustande.

Papier A: gelbes Conceptpapier: Holz- und Strohcellulose, Baumwolle- und Leinenfaser, Aschengehalt 9,75 %.
„ B: weißes Conceptpapier: Holz- und Strohcellulose, Aschengehalt 15,75 %.

Es bedeutet: Reihe a: Das Papier ist bei 10° getrocknet und sofort untersucht; b: im lufttrockenen Zustande untersucht; c: im gleichen Zustande vor Jahresfrist untersucht; d: nach 48 bez. 24stündigem Liegen im völlig feuchten Raume; e: nach Liegen im Wasser und raschem Absaugen in Löschpapier sofort untersucht.

Bezeichnung des Papiers und der Versuchsreihen	In der Richtung des Maschinenlaufs			Senkrecht zum Maschinenlauf			Verhältnißzahlen zwischen: Maschinenlauf und senkrecht dazu		Mittlere		Zimmer	
	Gewicht des Streifens	Reißlänge	Dehnung	Gewicht des Streifens	Reißlänge	Dehnung	Reißlänge	Dehnung	Reißlänge	Dehnung	Wärme	Feuchtigkeit
	g	km	%	g	km	%	km	%	km	%	C°	%
Papier A: Versuchsergebnisse.												
a	0,1975	3,16	1,52	0,1996	2,52	2,60	79	135	2,85	2,06	18,2	—
b	0,2063	3,94	1,42	0,2055	2,50	2,34	63	165	3,22	1,88	15,0	50
c	0,1974	3,90	1,60	0,1969	3,04	3,20	78	200	3,47	2,40	16,0	64
d	0,2008	3,60	1,80	0,2069	2,84	3,32	79	184	3,22	2,56	16,3	50
e	0,2001	2,42	4,56	0,2054	1,80	2,82	75	62	2,11	3,69	16,0	55
Verhältnißzahlen, bezogen auf Reihe a = 100.												
b	104	124	93	103	99	90	—	—	113	91	—	—
c	100	124	105	100	120	123	—	—	122	117	—	—
d	101	114	118	103	113	127	—	—	113	124	—	—
e	101	77	300	103	72	108	—	—	74	179	—	—
Papier B: Versuchsergebnisse.												
a	0,1857	3,76	1,58	0,1853	1,85	2,62	49	166	2,82	2,10	18,0	—
b	0,1985	4,06	1,12	0,2087	2,12	1,84	52	132	3,09	1,48	16,8	47
c	0,1963	4,67	1,70	0,1953	2,52	2,30	53	135	3,65	2,00	16,8	65
d	0,2016	4,16	1,76	0,2044	2,14	2,62	51	149	3,15	2,19	17,0	50
e	0,1956	0,82	2,86	0,1984	0,71	4,70	87	164	0,77	3,78	16,0	50
Verhältnißzahlen, bezogen auf Reihe a = 100.												
b	109	108	71	113	114	70	—	—	110	70	—	—
c	105	124	108	105	136	88	—	—	130	95	—	—
d	108	110	111	110	116	100	—	—	112	104	—	—
e	105	22	180	107	38	180	—	—	27	180	—	—

Die daselbst gegebenen Werthe sind in Fig. 8 in Schaulinien dargestellt. Die Versuche sind von dem Volontär Herrn Schinkel ausgeführt. Die ausgezogenen Linien bedeuten die Reißlänge, die punktirten die Dehnung. Die dickeren Linien geben die Mittelwerthe beider an.

Da die beiden untersuchten Papiere in der Stoffzusammensetzung und in ihren Festigkeitseigenschaften nicht wesentlich von einander abweichen, so darf man den beiden Versuchsreihen einen recht beweiskräftigen Werth beimessen. Aus den Schaulinien Fig. 8 erkennt man, daß auch die Einzelwerthe für die beiden Maschinenrichtungen sich dem allgemeinen Gesetz anschließen, mit Ausnahme der Dehnung von Ae.

Man erkennt, wie die Reißlänge sowohl infolge des starken Austrocknens als auch infolge der starken Anfeuchtung abnimmt. Die Reißlänge dürfte ihren größten Werth im luftfeuchten Zustande des Papiers erreichen. Die Dehnbarkeit zeigt ein entgegengesetztes Verhalten; sie ist am kleinsten im luftfeuchten Zustande des Papiers, am größten im stark angefeuchteten.

Digitized by Google

Auffallend erscheint es immerhin, daß die Dehnbarkeit auch beim völlig trockenen Papier größer sein soll, als beim luftfeuchten. Aus dem Vergleich von Reihe b und c in Tab. T läßt sich vermuthen, daß das Papier in Jahresfrist auch einen bemerkbaren Rückgang in seinen Festigkeitseigenschaften gehabt haben dürfte, wenn auch die anfänglich größere Dehnbarkeit beider Papiere sich sehr wohl durch den Umstand erklären lassen würde, daß die frühere Untersuchung bei höherer Luftfeuchtigkeit stattgefunden hat als die spätere. Leider ist es verabsäumt worden, den jedesmaligen Feuchtigkeitsgehalt des Streifens durch Auswiegen im feuchten und völlig trockenen Zustande zu bestimmen; durch die Vergleichung des mittleren Streifengewichtes, wie hier in Tab. T ausgeführt worden ist, war diese Unterlassung nicht mehr zu verbessern. Deswegen können die mitgetheilten Ergebnisse nur als vor-

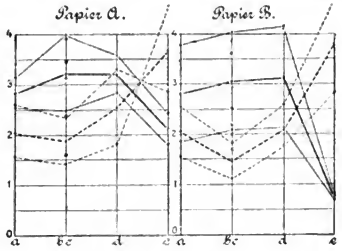


Fig. 8.

läufige betrachtet werden. Immerhin wird man aber aus ihnen den Schluß ziehen müssen, daß für die praktischen Papieruntersuchungen dahin zu streben ist, dieselben möglichst immer unter gleichen Feuchtigkeitsverhältnissen auszuführen, eine Forderung, die nicht leicht zu erfüllen sein dürfte. Jedenfalls aber ist nachdrücklichst davor zu warnen, daß die Untersuchungen sofort nach der Fertigstellung des Papiers vorgenommen werden, da erhebliche Aenderungen in den Festigkeitseigenschaften sehr wahrscheinlich stattfinden dürften und man bei späteren Kontrolversuchen leicht andere Zahlenwerthe finden würde.

Man wird aus dem Vorausgehenden ersehen haben, daß auch das Alter des Papiers, namentlich kurz nach seiner Anfertigung, ein Grund für abweichende Festigkeitsergebnisse an zwei verschiedenen Prüfungsstellen sein kann, und ein Theil der an die Anstalt gerichteten Beschwerden bezüglich der Abweichung der Eigenschaften zu verschiedenen Zeiten geprüfter Papiere darf wohl auf diesen Umstand zurückgeführt werden. Dieser Fall tritt allerdings wohl nur äußerst selten ein, denn in der Regel hat die Sache so gelegen, daß bei wiederholten Prüfungen wohl Papiere vorlagen, welche nach angeblich gleichen Stoffzusammensetzungen und unter angeblich denselben Vorsichtsmaßregeln nach dem gleichen Verfahren hergestellt sein sollten. Selten handelt es sich um Papiere von thatsächlich einer Fertigung. Unter diesen Umständen kann man eine völlige Uebereinstimmung der Festigkeitsergebnisse nicht erwarten, und es können immerhin beträchtliche Abweichungen vorkommen, da die die Festigkeit beeinflussenden Einzelfactoren des Erzeugungsvorganges zu mannigfaltig und schwer beherrschbar sind. Schon die Abweichungen in einem und demselben Bogen eines Maschinenpapiers sind recht

Digitized by Google

Tabelle C. — Zusammenstellung der im Jahre 1887 doppelt geprüften Papiere.

L. Nr.	Bezeichnung des Papieres	Streifen-Gewicht gr	Druckbelastung kg	Feinheits-Nr.	Reißlänge km	Dehnung %	Mittelwerthe der Reißlänge km	Mittelwerthe der Dehnung %	Widerstand gegen Zerknittern	Aschengehalt %	Mikroskopische Untersuchung	Leimung	Freie Säure	Holzschliff	Zimmerwärme und Feuchtigkeit	Datum
624 c	Schreib J. T. D. II b d IIIa/256 A.	0,220 0,223	5,67 4,34	0,818 0,807	4,64 3,50	2,1 3,2	4,07	2,7	5	2	Leinenfasern, Zusatz Hanffasern und Holzcellulose	leimfest	nicht vorh.	nicht vorh.	15,8° 74 %	4. I. 87
Kontrolversuch	do.					2,1 3,1		2,6							16° 48 %	10. II. 87
652 b	Tauen	0,358 0,358	7,58 4,92	0,503 0,503	3,81 2,47	5,0 7,2	3,14	6 1							16° 68 %	13. I. 87
Kontrolversuch	do.	0,331 0,329	7,20 4,23	0,544 0,547	3,92 2,31	4,9 7,2	3,12	6 1							17,4° 62 %	24. I. 87
658 a	Nr. 216	0,182 0,180	3,97 5,67	0,989 1,00	3,93 5,67	3,1 1,5	4,80	2,3	5	1,50	Leinen und Holzcellulose	"	"	"	19° 55 %	29. I. 87
Kontrolversuch	do.				3,67 5,61	3,4 1,9	4,64	2,7							19,5° 56 %	do.
658 b	Nr. 316	0,187 0,185	4,39 6,13	0,963 0,973	4,23 5,96	3,5 2,0	5,20	2 8	5	2	Leinen und Zusatz von Holzcellulose	"	"	"	19,1° 56 %	29. I. 87
Kontrolversuch	do.				4,24 6,16	3,9 1,9	5,20	2,9							19,2° 56 %	do.
658 c	Nr. 416	0,182 0,182	3,62 5,64	0,989 0,989	3,58 5,58	2,8 2,2	4,58	2,5	4	2	Leinen, Holz u. Strohcellulose	"	"	"	18,1° 55 %	29. I. 87
Kontrolversuch	do.				3,70 5,26	2,4 1,3	4,48	1,9							19,3° 55 %	do.
661 a	gerripptes Stempelpapier	0,266 0,264	7,70 5,87	0,677 0,682	5,21 4,00	2,8 4,3	4 61	3,6							17,5° 66 %	20. I. 87
Kontrolversuch	do.	0,268 0,261	8,45 5,90	0,672 0,690	5,68 3,77	2,7 4,8	4,73	3,8							17,4° 60 %	25. I. 87
688	Normal IIa	0,268 0,271	8,81 6,80	0,672 0,664	5,92 4,52	2,9 4,8	5,22	3,9	6	1,0	Leinen mit Zusatz von Baumwolle	"	"	"	18,8° 53 %	8. II. 87
Kontrolversuch	do.					2,8 5,1		4,0							17,4° 50 %	11. II. 87.
745	superf. Normal-Urkundenp. Nr. 1	0,268 0,270	8,04 7,66	0,672 0,667	6,75 5,11	4,0 6,0	5,93	5,0	7	0,75	Leinen mit Zusatz von Baumwolle und Holzcellulose	"	"	"	17° 70 %	26. III. 87
Kontrolversuch	do.	0,250 0,249	8,42 6,55	0,720 0,723	6,06 4,74	3,4 6,0	5,40	4,7							19,6° 62 %	8. IV. 87

bemerkbare Größen, wie aus den früheren Veröffentlichungen, namentlich aus dem Aufsatze über den Einfluß des Satinirens auf die Festigkeitseigenschaften von Maschinenpapier „Mittheilungen“, 1886 S. 93, hinreichend bekannt sein dürfte.

Für die Praxis werden zwei Fragen, welche mit dem Vorangehenden eng zusammenhängen, in der Zukunft von größerer Bedeutung werden, und die Versuchs-Anstalt wird daher ihrer Lösung besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden haben; das sind: die Frage, wie groß sind die mittleren Fehler, mit welchen die einzelnen Papierprüfungsmethoden auch bei sorgfältiger Ausführung behaftet bleiben? und die Frage, wie groß sind die Abweichungen, welche bei wiederholter Prüfung eines und desselben Papiers gefunden werden können? Von der Größe dieser beiden Fehler wird offenbar die Beantwortung der weiteren Frage abhängig sein: wie groß darf man in Streitfällen etwa den als zulässig zu erachtenden Spielraum zwischen Angebots- und Lieferungsprobe annehmen? Es wird nicht ganz leicht sein, schon jetzt eine sichere Beantwortung dieser Fragen zu gewinnen, da dieselbe naturgemäß nur aus einer sehr großen Zahl von Untersuchungen sich ableiten läßt. Die Wichtigkeit des Gegenstandes für die Praxis hat indessen Veranlassung gegeben, aus dem vorhandenen Material in Tab. U (S. 43) diejenigen Fälle zu sammeln, welche zur Lösung der Frage beitragen können.

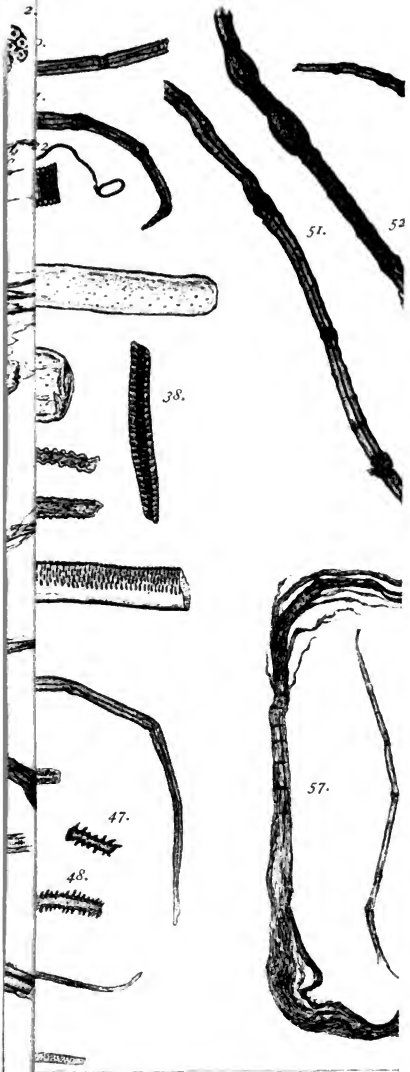
Verantwortlicher Redacteur: Dr. **Hermann Wedding.** — Verlag von **Julius Springer** in Berlin.

Druck von Eduard Krause in Berlin.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google


51.
52
38.
57.
47.
48.

Digitized by Google

Mittheilungen
aus den
Königlichen technischen Versuchsanstalten
zu Berlin.
Herausgegeben im Auftrage der Königlichen Aufsichts-Kommission.

Redacteur: Geheimer Bergrath Dr. Wedding,
Mitglied der Königl. Aufsichts-Kommission.

Ergänzungsheft IV. 1887.

Ueber

Druckpapiere der Gegenwart.

Von

A. Martens,

Vorsteher der Königlichen mechanisch-technischen Versuchsanstalt.

Berlin.
Verlag von Julius Springer
1887.

Digitized by Google

Ueber Druckpapiere der Gegenwart.

Von A. Martens, Vorsteher der Kgl. mechanisch-technischen Versuchs-Anstalt zu Berlin.

Die Wahrnehmung, daß die in die Hände der Versuchs-Anstalt gelangenden technischen Zeitschriften vielfach auf nicht besonders haltbarem Papier gedruckt sind und beim Gebrauch leicht in einen höchst bedenklichen Zustand gerathen, die vielfach öffentlich ausgesprochenen Klagen über gleiche Verhältnisse bei wissenschaftlichen Zeitschriften und größeren Druckwerken, sowie die Untersuchungen, welche von mehreren Seiten über den außerordentlich schnellen Verfall von Büchern in öffentlichen Bibliotheken angestellt worden sind, haben die Versuchs-Anstalt veranlaßt, eine Feststellung der augenblicklichen Sachlage anzustreben, soweit dies mit den verfügbaren Kräften möglich war. Zunächst wurden die Papiere derjenigen Zeitschriften untersucht, welche der Anstalt regelmäßig zugehen. Die Ergebnisse dieser Prüfung ließen es bereits dringend wünschenswerth erscheinen, die Untersuchungen weiter auszudehnen. Nach Mittheilung der bisher gewonnenen Erfahrungen hat die Verwaltung der Königlichen Bibliothek in Berlin in bereitwilligster Weise das erforderliche Probematerial aus einer großen Reihe von Zeitschriften übersendet. Da es indessen nur möglich war, schmale Streifen von den Rändern einzelner Seiten abzuschneiden, so konnte eine Feststellung der Festigkeitseigenschaften nicht erfolgen; man mußte sich vielmehr mit der Bestimmung des Aschengehaltes und der Stoffzusammensetzung begnügen. Konnte auf diese Weise allerdings auch kein vollständiges Bild von den Eigenschaften der untersuchten Papiere gewonnen werden, so zeigt doch die Zusammenstellung der erzielten Ergebnisse bereits so schlagend, in welcher Gefahr ein großer Theil der geistigen Erzeugnisse unserer Zeit schwebt, daß man nicht dringend genug eine Umkehr von dem jetzigen Zustand empfehlen kann.

Um diesen Umstand in das rechte Licht zu setzen, ist es nöthig, auch anderweitig gesammelte Erfahrungen in den Kreis der Besprechung zu ziehen.

Eine Erfahrung, die Jedermann an den Resten der von ihm gelesenen Zeitungen machen kann, ist, daß diese fast ganz aus Holzschliff hergestellten Erzeugnisse schon nach ganz kurzer Zeit oft nicht mehr dem geringsten Angriff widerstehen. Der Holzschliff, welcher an sich schon ein sprödes und wenig festes Papier liefert, vermehrt in kurzer Zeit seine Sprödigkeit erheblich und wird brüchig; er vergilbt schnell unter dem Einflusse des Lichtes und der Wärme. Man darf sogar behaupten, daß der Holzschliff auch die übrigen im Papier enthaltenen Faserarten in Mitleidenschaft ziehe, denn es ist klar, daß die inkrustirende Masse des Holzschliffes, der Erreger der Zerstörung, eben so sehr auf die benachbarten reinen Zellulose-Fasern einwirken wird, als auf die eigene Zellulosemasse des Holzschliffes. Der Holzschliff muß deswegen durchaus als ein schädlicher Bestandtheil

Digitized by Google

eines Druckpapiers gelten, wenn die daraus hergestellte Druckschrift einem häufigen starken Gebrauch ausgesetzt oder auf lange Zeit hinaus aufbewahrt werden soll. Da die schlechten Erfahrungen, welche man mit dem Holzschliff machte, Allgemeingut geworden sind, so wird man gegen den Ausschluß desselben für Papiere zu wichtigen Drucksachen keinen Einspruch erheben.

Ganz anders liegt die Sache bei einer Reihe von sonstigen Papierrohstoffen der Neuzeit. Dieselben haben viele Eigenschaften, welche sie vorzüglich für die Papierfabrikation geeignet machen.

Am meisten kommt die Holz- und Strohzellulose, sowie der Alfastoff in Frage. Die directen Erfahrungen, welche man über die Ausdauerfähigkeit dieser Papierstoffe gegenüber derjenigen von Lumpenstoffen bisher gewinnen konnte, sind so gering, daß darauf hin eine Entscheidung nicht getroffen werden kann. Wir wissen, daß lediglich aus Lumpenstoffen erzeugte Papiere Nachrichten über Leben und Wesen unserer Väter durch Jahrhunderte uns getreulich überliefert haben, und dürfen aus ihrem heutigen Zustande schließen, daß sie Jahrhunderte noch das ihnen Anvertraute der Nachwelt erhalten können. Die vorgenannten neueren Rohstoffe sind erst seit Kurzem in großem Maße zur Verwendung gekommen. Sie haben bei dem geringen Alter ihrer Dienstleistung höchstens Gelegenheit gehabt zu zeigen, daß sie keine so schlechten Eigenschaften besitzen, wie der Holzschliff; ob sie aber die Ausdauerfähigkeit der Lumpenfasern erreichen werden, wissen wir nicht.

Die wirthschaftlichen Werthe, welche bei Verwendung der neueren Papierstoffe in Frage kommen, sind jedoch so bedeutend, daß es fraglich erscheint, ob die Bedenken, welche gegen die Ausdauerfähigkeit dieser Stoffe erhoben worden sind, die Ausschließung von der Erzeugung des Papiers für unsere wichtigsten Druckschriften rechtfertigen können.

Diese Bedenken stützen sich zum großen Theil nur auf allgemeine Eindrücke, welche man beim Gebrauch von Zellulosepapieren gewonnen haben will, zum kleinen Theil nur auf wissenschaftliche Untersuchungen, namentlich die Veröffentlichungen von Hartig.*)

Hartig prüfte ungeleimte aus reiner Sulfitzellulose bestehende Papiere, welche im dunklen ungeheizten Zimmer aufbewahrt wurden, nach Ruhepausen von 1, 7 und 10 Monaten und fand:

nach Pausen von	1	7	10 Monaten
mittlere Reißlänge	3,25	3,43	3,65 km
mittlere Dehnung	6,21	3,87	1,36 %

Wenn auch diese Zahlen sehr bestimmt eine Veränderung der Festigkeitseigenschaften erkennen lassen, so dürfen doch aus diesem Beispiel allgemeine Schlüsse noch nicht gezogen werden. Nach den Erfahrungen der Versuchs-Anstalt dürfte es nicht ausgeschlossen sein, daß die meisten Papiere, auch die aus Lumpen erzeugten, gleich nach ihrer Herstellung Veränderungen der Festigkeitseigenschaften erfahren, wenn auch nicht in dem oben angegebenen Maße. Es ist auch durch die angegebenen Versuche und durch die Erfahrung noch nicht festgestellt, ob die Holzzellulose unter allen Umständen einen allmäligen Zerfall erfährt, oder ob letzterer vielmehr nicht Folge einer noch unvollkommenen Anwendung der chemischen Processe ist, welche für ihre Erzeugung benutzt werden. Man dürfte nicht fehlgehen, wenn man letzteres annimmt, denn einerseits ist nicht einzusehen, weshalb die aus einer anderen Pflanze gewonnene reine Zellulose einer nachträglichen Veränderung in wesentlich höherem Grade unterworfen sein sollte, als die aus der Leinen- oder Hanf-

*) Hartig: Papierzeitung 1885 S. 582. — Dingler: 1885 S. 436.

Digitized by Google

pflanze gewonnene; andererseits kennt man aber hinlänglich den starken Zerfall, welchem die Lumpenfaser anheimfällt, wenn sie einer unvollkommen ausgeführten chemischen Behandlung ausgesetzt war (Chlorbleiche, Kochen mit Lauge u. s. w.).

Wiesner*) hat im Auftrage der Bibliothek der K. K. technischen Hochschule in Wien im Jahre 1886 Untersuchungen angestellt, durch welche diejenigen Maßregeln ermittelt werden sollten, welche im Stande sein würden, den wahrgenommenen schnellen Zerfall vieler Werke zu verhindern, und kommt schließlich zur Empfehlung folgender Maßnahmen, um dem weiteren Verfall der Bibliotheken Einhalt zu thun: „Direktes Sonnenlicht ist zu vermeiden; die Bibliothekräume müssen recht trocken gehalten und möglichst durch Gaslicht, nicht aber mit elektrischem Licht beleuchtet werden".

Man ersieht aus Vorstehendem auch ohne die Hinzufügung weiteren Erfahrungsmaterials, wie wichtig es ist, den jetzigen Zustand unseres Druckpapiers mit Aufmerksamkeit zu ergründen und alle Maßregeln zu treffen, welche uns in Stand setzen, die drohenden Gefahren zu vermeiden, oder welche geeignet sind, uns möglichst schnell ein sicheres Urtheil über die Dauerhaftigkeit der neueren Papierstoffe zu verschaffen.

Ersteres dürfte wohl nur dadurch möglich werden, daß man für alle wichtigen Druckschriften, welche dauerhaft sein sollen, die Verwendung von Holzschliff unter allen Umständen ausschließt, daß man ferner mit der Benutzung der neueren Papierstoffe sehr vorsichtig ist, dieselben nur in geringen Mengen zuläßt und für Druckschriften, denen man lange Dauer sichern will, überhaupt nur die besten Lumpenpapiere verwendet. Die Bildung eines Urtheils über die Dauerhaftigkeit der neueren Papierstoffe ist nothwendig, weil es kaum möglich sein dürfte, auf die Dauer die Forderung, nur bestes Lumpenpapier zu verwenden, aufrecht zu erhalten. Darum ist es unabweislich nothwendig, durch eingehende und planmäßige Untersuchungen sich die Gewißheit darüber zu verschaffen, ob die genannten Stoffe, Holz- und Strohzellulose, Alfastoff u. a. bei sorgfältiger Herstellung nicht ebenso große Ausdauer versprechen als die Lumpenstoffe. Eine solche Untersuchung kann jedoch nur dann nutzbringend und entscheidend sein, wenn sie auf breiter Grundlage ausgeführt wird.

Hiernach muß man zur Zeit das Verlangen stellen, daß die hervorragenden wissenschaftlichen Zeitschriften mindestens aus einem Papier hergestellt werden, welches der Stoffklasse II der amtlichen Klassificirung entspricht**), denn Arbeiten von großem bleibenden Werthe werden gegenwärtig häufig ausschließlich in Zeitschriften veröffentlicht. — Sieht man sich darauf hin die nachstehend zusammengestellten Prüfungsergebnisse an, so ergiebt sich, daß in Stoffklasse I: Papiere, welche nur aus Lumpen und ohne Zusatz mineralischer Füllstoffe hergestellt sind, nur zwei Papiere von 97, oder 2,1 % eingereiht werden konnten. Von diesen stammt eins aber schon aus dem Jahre 1838, und man sieht, wie auch der Verleger der Zeitschrift dem Strome der Zeit gefolgt ist und mit seinen Anforderungen an das Papier (III 1 u. IV 22) zurückgegangen ist. In Stoffklasse II: Papiere, welche aus Lumpen unter Zusatz von (weniger als 25 %) Zellulose aber ohne Holzschliff hergestellt sind und nicht mehr als 5 % Asche haben, fallen nur zwei der untersuchten Papiere. Erhöht man den zulässigen Aschengehalt auf 8 %, so würden noch die Papiere aus III Nr. 4 u. 6 hinzukommen.

(Fortsetzung des Textes auf Seite 15.)

*) „Papierzeitung" 1886 S. 44.

**) Vergl. „Mittheilungen" 1886 S. 89 u. ff. Da die Druckfähigkeit in gewissem Maße durch Hinzufügung von Füllstoffen gehoben, die Durchsichtigkeit vermindert wird, so dürfte es vielleicht zweckmäßig sein, die Sätze bezüglich des Aschengehaltes für Druckpapiere etwas zu erhöhen und dieselben etwa auf 5 bez. 8 % zu setzen.

Digitized by Google

Tabelle 1.

Lfde. Nr.	Zeitschrift	Holzschliff-gehalt *)	Stoffzusammensetzung	Aschen-gehalt	Bemerkungen
	I. Stoffklasse. **Papiere, welche nur aus Lumpen und ohne Zusatz mineralischer Füllstoffe hergestellt sind.**				
1	Jahrbuch der Königl. Preuß. Kunstsammlungen. Berlin. Grote.	—	Leinen und Baumwolle	0,5 %	
2	Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes in Preußen. 1838.	—	Leinen mit wenig Baumwolle	2,0 %	Das jetzt benutzte Papier ist unter III. Kl. 1 u. IV. Kl. 22 untersucht
	II. Stoffklasse. **Papiere, welche aus Lumpen unter Zusatz von Zellulose, aber ohne Holzschliff hergestellt sind, und nicht mehr als 5 % Asche haben.**				
1	Journal des Savants. Paris. Imprimerie Nationale.	—	Leinen und Baumwolle mit Zusatz von Holz- und Strohzellulose und Alfa	0,25 %	
2	Mittheilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium der Königl. techn. Hochschule zu München. 1887. Tafeln.	—	Leinen und Baumwolle mit Zusatz von Strohzellulose	3,0 %	Siehe Text hierzu IV. Kl. Nr. 41
	III. Stoffklasse. **Papiere von beliebiger Stoffzusammensetzung, aber ohne Holzschliff und mit weniger als 15 % Asche.**				
1	Verein zur Beförderung des Gewerbfleißes in Preußen. 1887. Text.	—	Stroh- und Holzzellulose; geringe Mengen Baumwolle	3,5 %	Siehe Tafeln hierzu IV. Kl. Nr. 22
2	Mittheilungen aus den technischen Versuchs-Anstalten in Berlin. 1887.	—	Stroh- und Holzzellulose mit Zusatz von Leinen und Baumwolle	4,0 %	
3	The Journal of the Franklin Institute. 1885.	—	Pappelholzzellulose und ein Zusatz von Leinen und Baumwolle	6,0 %	
4	Bibliothèque universelle et Revue suisse. Lausanne. Bureau de la Bibl. univ.	—	Holz- und Strohzellulose mit geringem Zusatz von Baumwolle; Spuren von Leinen	6,5 %	
5	Göttingische gelehrte Anzeigen. Göttingen. Dieterich'sche Buchhandlung.	—	Leinen, Baumwolle und Holzzellulose	6,75 %	
6	Archiv für Literaturgeschichte. Leipzig. Teubner.	—	Leinen und Baumwolle mit Zusatz von Holz- und Strohzellulose	6,75 %	

*) Der Holzschliffgehalt ist nach der Methode von Dr. Wurster mit Hülfe des Dimethylparaphenylendiamin-Papiers bestimmt worden; jedoch wird darauf hingewiesen, daß die Methode nur eine ungefähre ist und die gewonnenen Angaben sehr wohl um 10 % von dem wahren Gehalt an Holzschliff abweichen können. Genaue Methoden zur Bestimmung des geschliffenen Holzes sind bis jetzt nicht bekannt.

Digitized by Google

Lfde. Nr.	Zeitschrift	Holzschliff-gehalt	Stoffzusammensetzung	Aschen-gehalt	Bemerkungen
7	Badische Gewerbezeitung 1886.	—	Strohzellulose mit Zusatz von Baumwolle; geringe Mengen Leinen	7,0 %	
8	Russische Revue, Petersburg. H. Schmitzdorff (Carl Röttger).	—	Leinen und Baumwolle, mit geringem Zusatz von Hanf; Spuren Strohzellulose und Holzschliff	8,0 %	
9	Transactions of the American society of Civil-Engineers. 1885.	—	Pappelholzzellulose u. Strohzellulose mit einem Zusatz von Leinen und Baumwolle	8,5 %	
10	Germania, Vierteljahrsschrift für Alterthumskunde. Wien. Gerold.	—	Leinen und Holzzellulose mit Zusatz von Baumwolle	9,5 %	
11	Rheinisches Museum für Philologie. Frankfurt a. M. Sauerländer.	—	Leinen und Baumwolle	10,0 %	
12	Sitzungsberichte der Königl. Bayerischen Akademie der Wissenschaften zu München. München. Straub.	—	Strohzellulose mit Zusatz von Leinen, Baumwolle und Holzzellulose	10,0 %	
13	Annalen der Physik u. Chemie. Leipzig. Ambrosius Barth.	—	Holzzellulose mit Zusatz von Baumwolle	10,5 %	
14	Theologische Literaturzeitung. Leipzig. Hinrichs.	—	Holz- und Strohzellulose mit Zusatz von Leinen und Baumwolle	12,0 %	
15	Nord und Süd. Breslau. Schottländer.	—	Holzzellulose mit geringem Zusatz von Leinen und Baumwolle	12,0 %	
16	The Academy. London. Villers.	—	Leinen und Alfa	12,0 %	
17	The Fortnightly Review. London. Chapman & Hall.	—	Leinen und Alfa	13,0 %	
18	Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences. Paris. Gauthier-Villars.	—	Leinen und Baumwolle	13,0 %	
19	Zeitschrift für das Gymnasialwesen. Berlin. Weidmann.	—	Holz- und Strohzellulose mit Zusatz von Leinen und Baumwolle	13,5 %	
20	Science. New-York. D. van Nostrand.	—	Pappelholzzellulose mit Zusatz von Baumwolle; Spuren von Leinen	13,5 %	
21	Naturwissenschaftliche Rundschau. Braunschweig. Vieweg.	—	Leinen, Baumwolle u. Strohzellulose	14,0 %	

Digitized by Google

Lfde. Nr.	Zeitschrift	Holzschliff-gehalt	Stoffzusammensetzung	Aschen-gehalt	Bemerkungen
22	Sitzungsberichte der Kaiserl. Akademie der Wissenschaften zu Wien. Wien. Gerold.	—	Leinen und Baumwolle mit Zusatz von Holzzellulose	14,0 %	
23	The Athenaeum. London. John Francis.	—	Leinen u. Alfa; Spuren Hanf	14,0 %	
24	The Nineteenth Century. London. Kegan Paul & French.	—	Leinen mit Zusatz von Alfa und Holzzellulose	14,0 %	
25	Engineering, an illustrated Weekly Journal. London. 1887. Text.	—	Esparto und Strohzellulose	14 2 %	Siehe Tafeln hierzu IV. Kl. Nr. 31
26	Centralblatt für die gesammte Medizin. Leipzig. Breitkopf & Härtel.	—	Leinen und Baumwolle mit Zusatz von Holzzellulose	14,5 %	
27	Philologus. Göttingen. Dieterich.	—	Holz- und Strohzellulose mit Zusatz von Leinen und Baumwolle	14,5 %	
28	Vierteljahrsschrift für Volkswirthschaft. Berlin. Herbig.	—	Holz- und Strohzellulose mit Zusatz von Leinen und Baumwolle	14,5 %	
29	Neues Archiv der Gesellschaft für ältere deutsche Geschichtskunde. Hannover. Hahn.	—	Holz- und Strohzellulose mit geringem Zusatz von Leinen und Baumwolle	14,5 %	
30	Edinburgh (Blackwood's) Magazine. Edinburgh. Blackwood's & Sons.	—	Leinen mit Zusatz von Alfa und Holzzellulose	14,5 %	
31	Gazette des beaux arts. Paris.	—	Leinen und Alfa; geringe Mengen Holzzellulose; Spuren von Strohzellulose	14,5 %	

IV. Stoffklasse.

Papiere von beliebiger Stoffzusammensetzung und beliebigem Aschengehalt.

1	Jern-Kontorets Annaler. 1885.	Geringe Mengen.	Holzzellulose mit Zusatz von Holzschliff; wenig Leinen u. Baumwolle	1,5 %	
2	Bayerisches Industrie- und Gewerbeblatt. 1885.	30 %	Holzzellulose und Holzschliff	5,0 %	
3	The Engineering and Mining-Journal 1885.	Geringe Mengen.	Pappelholzzellulose; wenig Leinen und Holzschliff	6,0 %	
4	Zeitschrift für Vermessungswesen. Carl Sickerd. 1886.	5 %	Holz- und Strohzellulose mit Zusatz von Holzschliff; geringe Mengen Baumwolle	6,0 %	
5	Revue des deux mondes. Paris. Bureau de la revue.	10 %	Alfa und Holzschliff mit Zusatz von Leinen, Baumwolle und Holzzellulose; geringe Mengen Strohzellulose	8,5 %	

Digitized by Google

Lfde. Nr.	Zeitschrift	Holzschliff-gehalt	Stoffzusammensetzung	Aschen-gehalt	Bemerkungen
6	Revue internationale. Rom. (Paris, Fischbacher.)	10%	Leinen, Baumwolle, Holzzellulose und Holzschliff	9,0%	
7	Historisch-politische Blätter für das katholische Deutschland. München. Liter.-artist. Anstalt.	5%	Leinen und Baumwolle mit Zusatz von Strohzellulose u. Holzschliff; Spuren von Holzzellulose	9,5%	
8	Zeitschrift für Stahl und Eisen. Düsseldorf. A. Bagel. Text. 1885.	40%	Holzschliff, Holzzellulose und Baumwolle	10,0%	Siehe Tafeln hierzu IV. Kl. Nr. 50
9	Berg- und Hüttenmännisches Jahrbuch. 1885. Text.	20%	Holzzellulose und Holzschliff; wenig Baumwolle	11,0%	Siehe Tafeln hierzu IV. Kl. Nr. 12
10	American Chemical Review. Chicago. 1886.	Geringe Mengen	Linden- u. Pappelholzzellulose; geringer Zusatz von Holzschliff und Baumwolle	12,5%	
11	The Saturday Review. London. David Jones.	Geringe Mengen	Leinen und Alfa mit geringem Zusatz von Holzschliff; geringe Mengen Strohzellulose	14,0%	
12	Berg- und Hüttenmännisches Jahrbuch 1885. Tafeln.	15%	Holzzellulose und Holzschliff; wenig Baumwolle	14,0%	Siehe Text hierzu IV. Kl. Nr. 9
13	Der praktische Maschinen-Constructeur. 1885.	Text 40% Tafeln 4%	Holzschliff, Strohzellulose und Leinen	14,0%	
14	Deutsche Seiler-Zeitung. 1886.	—	Holzzellulose mit Zusatz von Baumwolle	15,5%	
15	Deutsche Revue. Breslau. Trewendt.	15%	Holz- und Strohzellulose und Holzschliff; geringe Mengen Leinen und Baumwolle	15,5%	
16	Sitzungsberichte der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Reichsdruckerei.	—	Holz- und Strohzellulose mit Zusatz von Leinen und Baumwolle	15,5%	
17	La Nouvelle Revue. Paris.	Geringe Mengen	Holz- und Strohzellulose mit Zusatz von Leinen, Baumwolle und Holzschliff	15,5%	
18	Neue Jahrbücher für Philologie und Pädagogik. Leipzig. Teubner.	—	Leinen und Baumwolle mit Zusatz von Strohzellulose	16,0%	
19	Preußische Jahrbücher. Berlin. Reimer.	Spuren	Leinen und Baumwolle mit Zusatz von Strohzellulose; Spuren von Holzzellulose und Holzschliff	16,0%	
20	Historische Zeitschrift. München. Oldenbourg.	—	Baumwolle mit Zusatz von Strohzellulose; Spuren Holzzellulose	16,0%	
21	Nuova Antologia. Roma. Direzione della Nuova Antologia.	15%	Leinen, Baumwolle und Holzschliff; Holzzellulose; Spuren Strohzellulose	16,0%	

Digitized by Google

Lfde. Nr.	Zeitschrift	Holzschliff-gehalt	Stoffzusammensetzung	Aschen-gehalt	Bemerkungen
22	Verein zur Beförderung des Gewerbfleißes in Preußen. Tafeln.	—	Holzzellulose und Baumwolle; Spuren Leinen	16,0%	Siehe Text hierzu III Kl. Nr. 1
23	Oesterreichische Zeitschrift für Berg- u. Hüttenwesen. 1886.	30%	Holzzellulose und Holzschliff; geringe Mengen Leinen	16,25%	
24	Centralblatt für Bibliothekswesen. Leipzig. Harassowitz.	—	Holz- und Strohzellulose mit geringem Zusatz von Leinen und Baumwolle	16,5%	
25	Hermes. Berlin. Weidmann.	—	Holz- und Strohzellulose mit Zusatz von Leinen und Baumwolle	16,5%	
26	Jahresbericht über die Fortschritte der klassischen Alterthumswissenschaften. Berlin. Calvary.	—	Holz- und Strohzellulose mit Zusatz von Leinen	16,5%	
27	Petermanns Mittheilungen. Gotha. Perthes.	Spuren	Holz- und Strohzellulose mit Zusatz von Leinen und Baumwolle; Spuren Holzschliff	16,5%	
28	Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. Berlin. Dietrich Reimer.	—	Holz- und Strohzellulose mit Zusatz von Leinen und Baumwolle	16,5%	
29	Zeitschrift für deutsches Alterthum. Berlin. Weidmann.	—	Holz- und Strohzellulose mit Zusatz von Leinen und Baumwolle	17,0%	
30	Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereins. 1886. Text.	5%	Strohzellulose mit einem Zusatz von Holzschliff; geringe Mengen Baumwolle	17,5%	Siehe Tafeln hierzu IV. Kl. Nr. 60
31	Engineering, an illustrated Weekly Journal. London. 1887. Tafeln.	—	Alfa mit geringem Zusatz von Holzzellulose	17,5%	Siehe Text hierzu III. Kl. Nr. 25
32	Zeitschrift für Kirchengeschichte. Gotha. Perthes.	—	Holz- und Strohzellulose mit Zusatz von Baumwolle	17,5%	
33	Zeitschrift für Instrumentenkunde. 1887.	Sehr geringe Mengen	Stroh- und Holzzellulose; geringer Zusatz von Baumwolle und Leinen; sehr geringe Mengen Holzschliff	18,0%	
34	Neue philologische Rundschau. Gotha. Perthes.	—	Holz- und Strohzellulose mit Zusatz von Leinen und Baumwolle	18,0%	
35	Zeitschrift für bildende Kunst. Leipzig. Seemann.	—	Holz- und Strohzellulose; geringe Mengen Leinen und Baumwolle	18,0%	

Digitized by Google

Lfde. Nr.	Zeitschrift	Holzschliffgehalt	Stoffzusammensetzung	Aschengehalt	Bemerkungen
36	Das Ausland. Stuttgart. Cotta.	—	Leinen- und Baumwolle mit Zusatz von Holz- und Strohzellulose	18,5 %	
37	Literaturblatt für germanische und romanische Philologie. Heilbronn. Henninger.	30 %	Holzschliff, Leinen und Strohzellulose	18,5 %	
38	Zeitschrift für Philosophie u. philosophische Kritik. Halle. Pfeffer.	—	Holz- und Strohzellulose; geringe Mengen Leinen und Baumwolle	18,5 %	
39	Revue scientifique. Paris. Imprimerie Quantin.	Spuren	Leinen und Baumwolle; geringer Zusatz von Holzzellulose; Spuren Holzschliff	18,5 %	
40	Dinglers Polytechnisches Journal. 1887.	—	Baumwolle, Leinen und Holzzellulose; Zusatz von Strohzellulose	19,0 %	
41	Mittheilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium der Königlichen technischen Hochschule zu München. 1887. Text.	—	Strohzellulose mit geringem Zusatz von Leinen	19,0 %	Siehe Tafeln hierzu II. Kl. Nr. 2
42	Literarisches Centralblatt für Deutschland. Leipzig. Avenarius.	—	Leinen, Baumwolle und Holzzellulose	19,0 %	
43	Die Grenzboten. Leipzig. Grunow.	—	Holz- und Strohzellulose mit Zusatz von Leinen; geringe Mengen Baumwolle	19,0 %	
44	Deutsche Literaturzeitung. Berlin. Weidmann.	—	Leinen, Baumwolle und Holzzellulose mit Zusatz von Strohzellulose	19,0 %	
45	Revue politique et littéraire. Paris. Imprim. A. Quantin.	Geringe Mengen	Leinen u. Baumwolle mit Zusatz von Holzzellulose; geringe Mengen Holzschliff	19,0 %	
46	Centralblatt der Bauverwaltung. 1885.	—	Strohzellulose mit Zusatz von Leinen und Baumwolle	19,5 %	
47	Annalen für Gewerbe- und Bauwesen. 1885.	—	Strohzellulose; wenig Leinen und Baumwolle	20,0 %	
48	Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure. 1885.	Nur im Text geringe Mengen	Strohzellulose; wenig Leinen und Baumwolle	20,0 %	
49	Mittheilungen der Kaiserlichen Normal-Aichungs-Kommission. 1886.	—	Strohzellulose mit Zusatz von Holzzellulose; sehr geringe Mengen Baumwolle	20,0 %	

Digitized by Google

Lfde. Nr.	Zeitschrift	Holzschliff-gehalt	Stoffzusammensetzung	Aschen-gehalt	Bemerkungen
50	Zeitschrift für Stahl u. Eisen. Düsseldorf. A. Bagel. 1885. Tafeln.	—	Leinen und Baumwolle mit einem Zusatz von Holz- und Strohzellulose	20,0 %	Siehe Text hierzu IV. Kl. Nr. 8
51	Journal für die reine und angewandte Mathematik. Berlin. Reimer.	—	Holz- und Strohzellulose mit Zusatz von Leinen und Baumwolle	21,0 %	
52	Mittheilungen des Technologischen Gewerbe-Museums. 1885.	60 %	Holzschliff und Holzzellulose; wenig Leinen und Baumwolle	21,0 %	
53	Deutsche Bauzeitung. 1886.	—	Strohzellulose mit einem Zusatz von Baumwolle und Leinen	21,0 %	
54	The Contemporary Review. London. Strahan & Comp.	—	Leinen und Alfa; Spuren Strohzellulose	21,0 %	
55	Papierzeitung. 1887.	30 %	Strohzellulose, Holzschliff, Leinen und Baumwolle	21,75 %	
56	Norsk Teknisk Tidsskrift.	—	Strohzellulose mit einem Zusatz von Leinen und Baumwolle	22,0 %	
57	Berliner klinische Wochenschrift. Berlin. Hirschwald.	—	Holz- und Strohzellulose mit Zusatz von Leinen und Baumwolle	22,0 %	
58	Der Naturforscher. Tübingen. Laupp.	—	Leinen, Baumwolle und Holzzellulose mit einem Zusatz von Strohzellulose	22,5 %	
59	Magazin für die Literatur des In- und Auslandes. Leipzig. Friedrich.	40 %	Holzschliff, Leinen, Baumwolle und Holzzellulose	23,5 %	
60	Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereins. 1886. Tafeln.	—	Leinen, Baumwolle mit Zusatz von Stroh- u. Pappelzellulose	24,0 %	Siehe Text hierzu IV. Kl. Nr. 30
61	Westermanns Monatshefte. Braunschweig. Westermann.	—	Strohzellulose mit Zusatz von Leinen und Baumwolle	26,5 %	
62	Revue de Belgique. Bruxelles. Libr. Muquardt.	10 %	Holz- und Strohzellulose mit Zusatz von Holzschliff	32,0 %	

Digitized by Google

Tabelle 2.

Ergebnisse der Prüfung älterer Druckpapiere.

Lfd. Nr.	Titel der Druckschrift	Mikroskopische Untersuchung	Aschengehalt
1.	Libellus Isagogicus Abdilazi id est servi gloriosi Dei, qui dicitur Alchabitius ad magisterium judiciorum astrorum: Interpretatus a Joanne Hispalensi scriptumque in eundem a Joanne Saxione editum utili serie connexum incipiunt Venetiis. 1485.	Leinenfasern	Konnte wegen unzureichenden Probenmateriales nicht bestimmt werden
2.	Caji Plynii secundi vero mensis naturalis Hystoria Libri XXXVII diligenti admodum labores perui gilique cura nuper, nec antea in alma Parrhisiorum academia emendatiores Impressi atque recogniti. Qui in edibus Joannis Frellon ejusdem academiae bibliopole e regione domus Cluniacensis ac Mathurinorum aedis commorantis venales prostant. Parrhisiis. 1511.	Leinenfasern	Wie 1.
3.	C. Plynii secundi Naturalis historiae. lib. 27. Froben. Basilae. 1545.	Leinenfasern	Wie 1.
4.	Discorsi e dimostrazioni Matematiche intorna à due nuone scienze. Attenenti alla Mechanica et i movimenti locali del Signor. Gallileo Gallilei Linceo Filosofo matematica primario del serenissimo Grand Duca di Toscana. In Leida Appresso gli Elsevirii. 1638.	Leinenfasern	Wie 1.
5.	P. Casparis Schotti Mechanica hydraulico-pneumatica etc. 1657 exudebat Henricus Pigrin. Typographus Herbipoli.	Leinenfasern	Wie 1.
6.	Roberti Boyle Nobilissimi Angli et societatis regiae dignissimi socii. Opera varia. Geneva apud Samuelem do Tournes 1680.	Leinenfasern	Wie 1.
7.	Marcelli Malpighii Philosophi et Medici Bononiensis e Regia societate. Opera omnia Tomus II. Londini apud Robertum Scott & Georgium Wells. 1686.	Text: Leinenfasern Tafeln: Leinenfasern	Wie 1.
8.	Ignoti Philalethis Trias Schediasma. Tum de nonnullis ad Apocalypseos Interpretationem intellectumque spectantibus. 1695.	Leinenfasern	1,75 %

Digitized by Google

Lfd. Nr.	Titel der Druckschrift	Mikroskopische Untersuchung	Aschengehalt
9.	Oeuvres de Mr. Mariotte. de l'Académie Royale des Sciences A. Leide chez Pierre Vander. A a, Marchand Libraire, Imprimeur de l'Université et de la Ville. 1717.	Leinenfasern	Wie 1.
10.	Mémoires de l'académie royale des sciences depuis 1666 jusqu'à 1699 A Paris par la compagnie des libraires 1733 avec privilège du roi.	Leinenfasern	Wie 1.
11.	Opuscula omnia eruditorum Lipsensibus inserta, quae ad universam Mathesim Physicam, Medicinam etc., nec non epitoraae si quae materia vel Criticis animadversionibus celebriores. Tomus VII ab Anno 1730 ad annum 1740 Venetiis 1746. Typis Jo. Baptistae Pasquali.	Leinenfasern	Wie 1.
12.	Supplément à l'encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences des arts et des métiers A Amsterdam chez M. M. Rey, Libraire. 1777.	Leinenfasern	Wie 1.
13.	Transactions of the royal society of Edinburgh. Vol. I. Edinburgh. Printed for J. Dickson. Bookseller to the Royal society. Lold in London by T. Cadell. 1788.	Leinenfasern	Wie 1.
14	Vom Papier, den vor der Erfindung desselben üblichen Schreibmaßen und sonstigen Schreibmaterialien von Georg Friedrich Wehrs. Halle bei Joh. Jac. Gebauer. 1789.	Leinenfasern	Wie 1.
15.	The Transactions of the Royal Irish Academy 1739. Dublin George Bonham. Printer to the royal irish Academy 1790.	Tafeln: Leinenfasern Text: Leinenfasern	Wie 1.
16.	Mémoires de l'académie Royale des sciences et belles-lettres depuis l'avènement de Frédéric Guillaume II. au throne. 1794–1795. A Berlin chez Georg Decker.	Leinenfasern	Wie 1.
17.	Mémoires de l'académie Royale des sciences et belles-lettres depuis l'avènement de Frédéric Guillaume II. au throne. A Berlin chez Georg Decker 1799.	Leinenfasern	Wie 1.
18	Der glücklichen Zurückkunft Freund Glühmanns. 1810.	Leinenfasern Spuren Baumwolle	2,00 %

Digitized by Google

Von sieben und neunzig aus wissenschaftlichen Zeitschriften entnommenen Papieren würden also nur 6 eine ziemlich sichere Gewähr für langjährige Ausdauer geben.

Zu Stoffklasse III: Papiere von beliebiger Stoffzusammensetzung, aber ohne Holzschliff und mit weniger als 15 % Asche, gehören 31, oder 31,9 % aller untersuchten Papiere. Hiervon sind 7, oder 7,2 % wenigstens noch aus Stoffen bereitet, die eine längere Ausdauer mit einiger Sicherheit gewährleisten, nämlich außer Nr. 6 u. 8 noch Nr. 11, 18, 24, 26 u. 30, aber von 24 Papieren, oder 24,7 % kann man eine große Ausdauer nicht mit Sicherheit erwarten, weil sie vorwiegend aus Holz- oder Strohzellulose u. s. w. bestehen.

Ist schon dieses Verhältniß mit Rücksicht auf die Zwecke, dem die meisten der in der Tabelle genannten Zeitschriften dienen, höchst bedenkenerregend, so ist die Gefahr eines baldigen Zerfalles für den weitaus größten Theil der unter Gruppe IV: Papiere von beliebiger Stoffzusammensetzung und beliebigem Aschengehalt genannten Blätter sehr groß, und man darf einem Theil der Zeitschriften sicher die Aussicht stellen, daß der Bestand ihrer Jahrgänge schon innerhalb des ersten Jahrhunderts ihres Daseins in Frage gestellt wird.

Zu Gruppe IV gehören 62, oder 63,9 % aller untersuchten Papiere. Von diesen können allenfalls Nr. 18, 20, 36, 50 u. 60 ausgenommen werden, bei denen wenigstens der Hauptsache nach Lumpen verwendet worden sind. Der hohe Aschengehalt dürfte zur Erhöhung der Güte des Papiers wohl ganz gewiß nicht beitragen; man wird die große Menge von Füllstoffen voraussichtlich nur zur Verbesserung der äußeren Erscheinung und zur Verminderung des Preises absichtlich hinzugefügt haben, da kaum angenommen werden kann, daß sie ohne Wissen des Verlegers angewendet worden ist.

Ein ganz beträchtlicher Theil der Zeitschriften ist auf Papier gedruckt, welches die schlimmsten Feinde für seine Dauerhaftigkeit, Holzschliff oder schlecht aufgeschlossene Zellulose enthält. In diese Gruppe entfallen 28, oder 28,8 % der untersuchten Papiere. Was soll man aber sagen, wenn man findet, daß Zeitschriften, welche gewiß Anspruch auf dauernden Werth des Inhaltes erheben werden, 20 bis 60 % Holzschliff für ihr Papier zulassen und fast sicher die in ihnen niedergelegten geistigen Arbeiten der Autoren schon innerhalb eines Menschenalters dem Verfall preisgeben? Sie schädigen ihre Mitarbeiter, wie ihre Abnehmer, die beide im guten Glauben auf die Haltbarkeit des Papiers vertrauten. Was haben wir von der Zukunft zu erwarten, wenn schon jetzt Behörden zum Schutze ihrer Bestände darauf angewiesen sind, zur Anfertigung von Abschriften namhafte Summen auszuwerfen, um den Inhalt der bereits im Verfall befindlichen Originale zu retten?

Sieht man hiergegen (vergl. Tabelle 2: Ergebnisse der Prüfung älterer Druckpapiere), welches Papier unsere Väter für ihre Druckschriften verwendeten und wie gut dasselbe sich, abgesehen von seiner äußeren Erscheinung, selbst dann erhalten hat, wenn die Bücher von einer Hand in die andere wanderten und häufig das Schatzkämmerchen des Antiquars zierten, so wird man den Wunsch nicht unterdrücken können, daß die gegenwärtige Veröffentlichung hinreichen möge, um die Verleger größerer Werke und Zeitschriften, sowie Behörden und Vereine zu veranlassen, daß sie zu ihren Druckwerken ein gutes ausdauerversprechendes Papier verwenden und die minderwerthigen Stoffe nur für solche Schriften zulassen, welche Tageszwecken dienen. Immerhin aber würde es von wissenschaftlichem Interesse sein, alles Material zu sammeln, welches uns über das Verhalten der Zellulosepapiere Aufklärung zu geben vermag. Die Versuchs-Anstalt richtet deswegen an die

Digitized by Google

öffentlichen Bibliotheken die Bitte, sie in diesem Streben zu unterstützen, indem dieselben ihr von solchen wissenschaftlichen Werken, deren Papier sich beim häufigen Gebrauch besonders gut oder besonders schlecht bewährt hat, Proben einsenden. Es wird wohl in der Regel möglich sein, von den Rändern einzelner Seiten, im ganzen etwa 5 bis 10 Streifen von ungefähr 10 mm Breite abzuschneiden, ohne den Inhalt zu verletzen. Diese Streifen, in einem Umschlage, welcher mit den nöthigen Angaben über den Ort der Aufbewahrung und Art und Häufigkeit der Benutzung, über Vergilben u. s. w. versehen ist, würden ein sehr werthvolles Material für die fernere Untersuchung geben.

Verantwortlicher Redacteur: Dr. Hermann Wedding. — Verlag von Julius Springer in Berlin.

Druck von Eduard Krause in Berlin.

Digitized by Google

TA
3
P972
M51

Mittheilungen
aus den
Königlichen technischen Versuchsanstalten.
zu Berlin.
Herausgegeben im Auftrage der Königlichen Aufsichts-Kommission.

Redacteur: Geheimer Bergrath Dr. **Wedding**.
Mitglied der Königl. Aufsichts-Kommission.

Ergänzungsheft 1. **1888.**

Ergänzungen

zu den

im 2. Ergänzungshefte 1887 veröffentlichten

Untersuchungen über Festigkeitseigenschaften und Leitungsfähigkeit an deutschem und schwedischem Drahtmateriale.

Im Auftrage des Herrn Ministers für Handel und Gewerbe.

1) Bestimmung des elektrischen Leitungswiderstandes von Metalldrähten.

Von

A. Paalzow,
Königl. Professor an der technischen Hochschule zu Berlin.

Mit 1 Tafel.

2) Zusammenhang

zwischen der chemischen Zusammensetzung und dem Kleingefüge einerseits und der Leitungsgüte des Telegraphendrahtes andrerseits.

Unter Benutzung amtlicher Materialien
von

Dr. H. Wedding,
Königl. Geheimen Bergrath zu Berlin.

Mit 7 Tafeln.

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1888.

Digitized by Google

1) Bestimmung des elektrischen Leitungswiderstandes von Metalldrähten.

Im Auftrage des Herrn Ministers für Handel und Gewerbe von A. Paalzow, Kgl. Professor an der techn. Hochschule.

Hierzu Tafel 1.

Die in dem Ergänzungsheft II 1887 S. 14 erwähnten Messungen des elektrischen Widerstands von Metalldrähten habe ich nach den beiden folgenden Methoden ausgeführt:

I. Nach dem Schema der Wheatstoneschen Brücke, welches Fig. 1 (Tafel 1) erläutert, bleibt die Galvanometernadel eines Multiplicators im Gleichgewicht, wenn bei Gleichheit von w_1 und w_2 auch w_3 gleich w_4 ist. Wird nun der Meßdraht der Brücke um ein Drahtstück l (Fig. 2) verlängert, so muß, damit die Nadel wieder auf Null stehen bleibt, der Klotz (d) des Brückendrahts von d bis d_1 verschoben werden, so daß der Widerstand zwischen a und d_1 (w_5) gleich dem zwischen d_1 und b_1 (w_6) geworden ist; w_1 und w_2 bleiben unverändert. Den Widerstand von l setze ich als bekannt voraus, er bildet den Normalwiderstand. Um nun den Widerstand eines beliebigen anderen Drahtes mit diesem Normaldraht zu vergleichen, wird zwischen b und b_1 eine solche Länge l_1 von demselben eingeschaltet, daß bei unveränderter Klotzstellung d_1 die Galvanometernadel wieder auf Null steht.

Man sieht, daß die Methode der Tarirmethode beim Wägen ganz entsprechend ist, und es werden auch bei ihr alle Fehler, welche die Instrumente haben könnten, eliminirt. Nur darauf ist bei dieser Methode zu achten, daß der Druck, mit welchem die Drähte zwischen b und b_1 eingeklemmt werden, immer derselbe ist.

Um nach diesem Plane die Messungen auszuführen, wurde eine Brücke benutzt, die in Fig. 3 und Fig. 4 dargestellt ist. Der Meßdraht konnte mit starken Schrauben zwischen a und b eingespannt werden. Der Normaldraht (l) kommt zwischen die starken Messingstücke b und b_1 und wird ebenfalls durch kräftige Schrauben festgehalten.

Es wurden nun folgende Versuche angestellt. Mit den Klemmen a und b werden mit Hülfe des Commutators die Polenden eines Daniell'schen Elements in Verbindung gebracht. Die beiden Messingklötze b und b_1 werden so nahe wie möglich an einander gerückt und der Normaldraht bei Maximaldruck zwischen ihnen eingeklemmt. Ob der Maximaldruck erreicht ist, davon überzeugt man sich leicht, indem bei weiterem Anziehen der Schrauben die Galvanometernadel sich nicht mehr bewegt. Der Klotz des Brückendrahtes wird bis zu der Stelle d gerückt, so daß die Galvanometernadel auf Null steht. Es wird nun der Klotz b_1 von b entfernt, eine bestimmte Länge des Normaldrahtes eingeschaltet und der Klotz des Brückendrahtes bis d_1 verschoben, so daß die Galvanometernadel auf Null steht. Diese Klotzstellungen d und d_1 werden notirt und von Zeit zu Zeit durch den Normaldraht wieder revidirt. Hierauf wird der

Digitized by Google

Normaldraht durch den zu untersuchenden ersetzt, und man wird je nach dem Material und Durchmesser desselben eine andere Länge l_1 zwischen b und b_1 einschalten müssen. Diese Länge l_1 wird mit der größten Genauigkeit ausgemessen.

Die Berechnung des Widerstands des Drahtes pro Kilometer in Siemens'schen Einheiten ist einfach.

Wenn a der Widerstand des Normaldrahtes, l_1 die Länge des ihm gleichwerthigen Widerstands des zu untersuchenden Drahtes ist, dann ist x der Widerstand pro Kilometer

$$x = \frac{a}{l_1} 1000.$$

Um die Leitungsgüte des Materials zu berechnen, muß noch der mittlere Durchmesser des Drahtes bestimmt werden. Bei unverzinkten Eisendrähten kann dies leicht bis auf Hundertstel des Millimeters ausgeführt werden. Bei den verzinkten Drähten, wo der Durchmesser sehr variirt, muß er an vielen Stellen gemessen werden, um einen guten Mittelwerth zu erhalten.

Aus dem Durchmesser berechnet sich leicht der Querschnitt q, und es ist dann das specifische Leitungsvermögen s im Vergleich zu Quecksilber gemäß der Definition der Siemens'schen Einheit

$$s = \frac{l_1}{a \cdot q}.$$

Die Methode erfordert ein empfindliches Galvanometer. Das von mir benutzte ist ein aperiodisches Galvanometer von Siemens & Halske, welches bei 140 000 000 Siemens'schen Einheiten und Einschaltung eines Daniell'schen Elementes einen Ausschlag von 20 Skalentheilen giebt.

Der von mir benutzte Normaldraht ist ebenfalls von der Firma Siemens & Halske geliefert, ist von 32 zu 32 mm gemessen und hat im Mittel bei einer Länge von 120 mm einen Widerstand von 1 Tausendstel einer Siemens'schen Einheit.

Bemerkenswerth ist noch, daß der Klotz des Brückendrahts (d) aus einem starken Stück Messing mit eingelassener Stahlschneide besteht. Um auch Thermoströme beim Anfassen dieses Klotzes zu vermeiden, war derselbe mit einer Holzkappe umgeben.

Ein Zahlenbeispiel möge die Rechnungen erläutern.

$$a = 0{,}008 \text{ S. E.}$$
$$l_1 = 0{,}168 \text{ m},$$

daher

$$x = 47{,}6 \text{ S. E.}$$

Der Durchmesser 1,98 mm, daher der Querschnitt 3,02 qmm, und somit

$$s = \frac{168}{8.\ 3{,}02} = 6{,}95;$$

d. h. das Material dieses Drahtes leitet 6,95 mal besser als Quecksilber, die wichtigste Zahl zur Prüfung der Qualität der Drähte.

II. Bei der ersten Methode ist es sehr zeitraubend, die Drähte in der geschilderten Weise einzuklemmen. Deßhalb bediene ich mich in neuerer Zeit einer anderen Methode, die zugleich gestattet, die Temperatur-Coefficienten für die Widerstände mit Leichtigkeit zu bestimmen. Es wäre gut, wenn auch die Fabrikanten dieser Zahl Werth bei-

Digitized by Google

legten; ich will nur beispielsweise erwähnen, daß die Phosphorbronce einen sehr geringen Temperatur-Coefficienten besitzt, so daß Drähte aus diesem Material auch bei bedeutenden Temperaturwechseln ziemlich gleichen Widerstand behalten.

In den Schließungsbogen eines Daniell'schen Elements werden 3 Drähte eingespannt, wie es die Fig. 5 schematisch erläutert. Zwischen A und B liegt ein beliebiger Draht, zwischen C und D der zu untersuchende und zwischen E und F der Normaldraht. Durch zwei starke Messingklötze A_1 B_1 (Fig. 6—8) wird der Strom zu der einen Windung eines Differentialgalvanometer geleitet und durch die Klötze C_1 und D_1 zu der zweiten Windung desselben. Der Abstand der Klötze C_1 und D_1 wird so gewählt, daß zwischen ihnen der Widerstand ein bekannter wird; ich bezeichne diesen wieder mit a. Die beiden Klötze A_1 und B_1 werden nun so lange verschoben, bis die Galvanometernadel eines empfindlichen Differentialgalvanometers in Ruhe bleibt. Nun werden die Klötze C_1 und D_1 vom Normaldraht abgenommen, auf den zu untersuchenden Draht CD gesetzt und so lange verschoben, bis abermals die Nadel auf Null steht.

Dieser Abstand der Klötze heißt wieder l_1, und dann ist auch der Widerstand des zu untersuchenden Drahtes pro Kilometer

$$x = \frac{a}{l_1} \cdot 1000 \text{ und}$$

$$s = \frac{l_1}{a \cdot q}.$$

Auch hier bleibt der Tarirmethode entsprechend an den Instrumenten Alles ungeändert, es wird nur der Normaldraht durch den zu untersuchenden ersetzt. Der Druck, unter welchem die Klötze die Drähte berühren, ist gleichgültig, man kann ihn vergrößern oder verkleinern, ohne daß sich die Stellung der Galvanometernadel ändert. Außerdem ist es leicht, die zu untersuchenden Drähte an verschiedenen Stellen auf ihren Widerstand zu prüfen; dazu hat man nur beide Klötze auf dem Drahte zu verschieben.

Digitized by Google

2) Zusammenhang zwischen der chemischen Zusammensetzung und dem Kleingefüge einerseits und der Leitungsgüte des Telegraphendrahtes andrerseits.

Im Auftrage des Herrn Ministers für Handel und Gewerbe, unter Benutzung amtlicher Materialien von Dr. H. Wedding, Kgl. Geh. Bergrath.

Hierzu Tafel 2 bis 8.

Bei der Darstellung der Untersuchungen über Festigkeitseigenschaften und Leitungsfähigkeit an deutschem und schwedischem Drahtmateriale (im zweiten Ergänzungshefte zu den „Mittheilungen aus den Kgl. technischen Versuchsanstalten 1887") ist zum Schlusse ausgeführt worden, daß eine gesetzmäßige Abhängigkeit der Leitungsgüte von dem Materialzustande, wie er durch Festigkeitsprüfungen ermittelt worden war, nicht erkennbar sei.

Dieser Mangel an Anhaltspunkten zur Beurtheilung derjenigen Eigenschaften, welche dem inländischen Material gegeben werden müßten, um ihm eine gleiche Leitungsfähigkeit wie dem schwedischen zu ertheilen, veranlaßte den Herrn Minister für Handel und Gewerbe eine fernere Untersuchung der geprüften Telegraphendrähte auf chemischem und mikroskopischem Wege anzuordnen.

Die mechanisch-technische Versuchsanstalt wurde in Folge dessen beauftragt, Proben der auf Leitungsfähigkeit geprüften Drähte an die chemisch-technische Versuchsanstalt zur chemischen Untersuchung und zur Herstellung von Schliffen für mikroskopische Untersuchung abzugeben. Diese Proben waren sorgfältig numerirt und außerdem mit den laufenden Ziffern der mechanisch-technischen Versuchsanstalt versehen, um jeden Irrthum auszuschließen.

Die mikroskopische Untersuchung selbst und die Herstellung der von den Schliffen genommenen Photogramme wurde von dem Verfasser ausgeführt.

A. Zusammenhang zwischen chemischer Zusammensetzung und Leitungsgüte.

Die in der chemisch-technischen Versuchsanstalt ausgeführten Analysen ergaben die in der folgenden Tabelle 5 zusammengestellten Resultate.

Digitized by Google

Tabelle 5.

Auf den Drähten befindliche Nr.	% Phosphor	% Kohlenstoff	% Mangan	% Schwefel	% Silicium
1	0,128	0,04	0,13	0,01	0,08
2	0,109	0,13	0,12	0,01	0,08
3	0,116	0,09	0,15	0,01	0,10
4	0,085	0,08	0,47	0,03	0,00
5	0,096	0,08	0,69	0,02	0,00
6	0,101	0,05	0,59	0,04	0,00
11	0,127	0,11	1,17	0,02	0,01
12	0,101	0,16	1,22	0,01	0,01
17	0,115	0,03	0,40	0,06	0,00
18	0,050	0,03	0,35	0,05	0,00
21	0,063	0,03	0,27	0,05	0,00
22	0,066	0,02	0,29	0,01	0,00
23	0,141	0,01	0,49	0,08	0,00
24	0,081	0,02	0,22	0,07	0,00
25	0,063	0,02	0,33	0,05	0,00
26	0,072	0,03	0,26	0,05	0,00
32	0,118	0,11	0,09	0,05	0,16
35	0,058	0,03	0,28	0,06	0,00
36	0,048	0,01	0,29	0,06	0,01
37	0,043	0,03	0,32	0,01	0,00
38	0,157	0,06	0,11	0,01	0,07
41	0,023	0,14	0,10	0,01	0,01
42	0,022	0,02	0,00	0,01	0,01
43	0,019	0,02	0,00	Spur	0,01
44	0,044	0,02	Spuren	Spur	0,00

Unter diesen Proben befinden sich nur vier in einem anderen, als dem angelieferten Zustande, d. h. ausgeglüht. Das sind die Nummern 18, 22, 24 und 26. Wäre derselbe Draht im angelieferten und ausgeglühten Zustande untersucht worden, so hätten die zusammengehörigen Analysen einen Schluß auf die chemische Aenderung, welche das Glühen hervorgerufen hatte, gestattet. Da indessen die Proben verschiedenen Drahtadern angehörten, so läßt sich eine solche Schlußfolgerung nicht ziehen. Die zusammengehörigen Analysen zeigen vielmehr eine so große Verschiedenheit, daß zu ihrer Erklärung auch eine verschiedene chemische Zusammensetzung des ursprünglichen Materials angenommen werden muß, wie die folgende Zusammenstellung beweist:

	Phosphor	Kohlenstoff	Mangan	Schwefel	Silicium
Nr. 23	0,141	0,01	0,49	0,08	0,00
„ 24	0,081	0,02	0,22	0,07	0,00
„ 21	0,063	0,03	0,27	0,05	0,00
„ 22	0,066	0,02	0,29	0,01	0,00

Digitized by Google

	Phosphor	Kohlenstoff	Mangan	Schwefel	Silicium
„ 25	0,063	0,02	0,33	0,05	0,00
„ 26	0,072	0,03	0,26	0,05	0,00
„ 17	0,115	0,03	0,40	0,06	0,00
„ 18	0,050	0,03	0,35	0,05	0,00

Namentlich ist es die Verschiedenheit des Phosphorgehalts in Nr. 23 und 24, 17 und 18, und die Verschiedenheit des Mangangehalts in Nr. 23 und 24, 25 und 26, welche gegen eine ursprüngliche Gleichheit des Materials spricht.

Schon diese Beispiele beweisen, wie unsicher Schlußfolgerungen sind, welche auf nur kleine Reihen von Untersuchungen gestützt werden. Andererseits wäre es auch nicht gerechtfertigt, derartige Schlußfolgerungen zurückzuhalten, weil sie eine werthvolle Grundlage für weitere Untersuchungen bilden, deren Aufgabe es sein wird, ergänzend oder berichtigend einzutreten.

Die Leitungsgüte war den Festigkeitseigenschaften in der Tabelle 4 auf Seite 23 des zweiten Ergänzungsheftes 1887 gegenüber gestellt. Zwar sind dort die in der vorstehenden Tabelle mit Nr. 11 und 12 bezeichneten Drähte nicht aufgenommen, weil dieselben wohl zu Kabeln benutzt werden, aber nicht als Leiter dienen; dennoch waren sie geprüft worden.

Um die Leitungsgüte auch mit der chemischen Zusammensetzung vergleichen zu können, ist die folgende Tabelle 6 zusammengetragen, in welcher die Drähte nach ihrer Leitungsgüte angeordnet sind. Gleichzeitig sind in der dritten und vierten Vertikalspalte die laufende Nummer der Tabelle 2 und die entsprechende Nummer der Tabellen 3 und 4 angeführt, so daß auch ein Vergleich der chemischen und mechanischen Eigenschaften der einzelnen Drähte ohne Schwierigkeit ausführbar ist.

Die in der ersten Vertikalspalte mit a bezeichneten Proben (5a, 7a, 8a, 16a) sind die vorerwähnten geglühten Drähte, Nr. 20 und 21 die Kabeldrähte.

Tabelle 6.

Laufende Nr.	Auf den Drähten befindliche Nr.	Festigkeits-Tabellen: Lauf. Nr. Tab. 2	Festigkeits-Tabellen: Nr. Tabelle 3 und 4	Phosphor %	Kohlenstoff %	Mangan %	Schwefel %	Silicium %	Leitungsgüte im Verhältnis zu Quecksilber bei 0° C.
1	43	67	6	0,019	0,02	0,00	Spur	0,07	10,11
2	44	69	5	0,044	0,02	Spur	Spur	0,00	9,96
3	41	65	22	0,023	0,14	0,10	0,01	0,01	9,85
4	42	63	24	0,022	0,02	0,00	0,00	0,01	9,70
5	23	35	26	0,141	0,01	0,49	0,08	0,00	9,32
5a	24	50	26	0,081	0,02	0,22	0,07	0,00	—
6	37	39	23	0,043	0,03	0,32	0,00	0,00	9,23 *)
7	21	36	29	0,063	0,03	0,27	0,05	0,00	9,00
7a	22	51	29	0,066	0,02	0,29	0,01	0,00	—

*) Nach Schlußübersicht A 9,24.

Digitized by Google

Laufende Nr.	Auf den Drähten befindliche Nr.	Festigkeits-Tabellen lauf. Nr. Tab. 2	Festigkeits-Tabellen Nr. Tabelle 3 und 4	Phosphor %	Kohlenstoff %	Mangan %	Schwefel %	Silicium %	Leitungsgüte im Verhältniß zu Quecksilber bei 0° C.
8	25	41	33	0,063	0,02	0,53	0,05	0,00	8,96
8a	26	56	33	0,072	0,03	0,26	0,05	0,00	—
9	36	38	27	0,048	0,01	0,29	0,06	0,01	8,80
10	32	33	9	0,118	0,11	0,09	0,05	0,16	8,70
11	35	37	30	0,058	0,03	0,28	0,06	0,00	8,58
12	3	29	11	0,116	0,09	0,15	0,01	0,10	8,17
13	1	27	7	0,128	0,04	0,13	0,01	0,08	8,02
14	38	40	8	0,157	0,06	0,11	0,01	0,07	7,97
15	2	28	10	0,109	0,13	0,12	0,01	0,08	7,77
16	17	34	31	0,115	0,03	0,40	0,06	0,00	7,60
16a	18	49	31	0,050	0,03	0,35	0,05	0,00	—
17	6	31	28	0,101	0,05	0,59	0,04	0,00	7,05
18	5	32	32	0,096	0,08	0,69	0,02	0,00	6,57
19	4	30	25	0,085	0,08	0,47	0,03	0,00	6,46
20	12	13	21	0,101	0,16	1,22	0,01	0,01	5,63 *)
21	11	12	15	0,127	0,11	1,17	0,02	0,01	5,20 *)

Ein Vergleich der Leitungsgüten zeigt folgende Differenzen:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
10,11	9,96	9,85	9,70	9,32	9,23	9,00	8,96	8,80	8,70	8,58	8,17	8,02	7,97	7,77	7,60	7,05	6,57	6,46	5,63	5,20
	0,15	0,11	0,15	0,38	0,09	0,23	0,04	0,16	0,10	0,12	0,41	0,15	0,05	0,20	0,17	0,55	0,48	0,11	0,83	0,43

Der erste erhebliche Sprung liegt zwischen dem vierten und fünften Draht, d. h. zwischen den schwedischen und deutschen Drähten. An derselben Stelle tritt eine erhebliche Verschiedenheit der chemischen Zusammensetzung hervor:

Die Differenz zwischen 4 und 5 (5—4) beträgt:

Phosphor	Kohlenstoff	Mangan	Schwefel	Silicium
+ 0,119	— 0,01	+ 0,49	+ 0,08	— 0,01

Der zweite erhebliche Sprung zwischen Nr. 11 und 12 und der dritte zwischen 17 und 18 machen sich nicht ebenso bemerkbar in der chemischen Zusammensetzung.

Die Differenz zwischen 11 und 12 (12—11) beträgt:

Phosphor	Kohlenstoff	Mangan	Schwefel	Silicium
+ 0,058	+ 0,06	— 0,13	— 0,05	+ 0,10

und diejenige zwischen 17 und 18 (18—17)

Phosphor	Kohlenstoff	Mangan	Schwefel	Silicium
— 0,005	+ 0,03	+ 0,10	— 0,02	± 0,00

Endlich zeigen sich bei den ganz niedrigen Leitungsgüten, d. h. zwischen 19 und 20 (20—19) und 20 und 21 (21—20) folgende Differenzen:

Phosphor	Kohlenstoff	Mangan	Schwefel	Silicium
+ 0,016	+ 0,08	+ 0,75	— 0,02	+ 0,01
und + 0,026	— 0,05	— 0,05	+ 0,01	± 0,00

*) In Schlußübersicht A nicht aufgenommen, voraussichtlich, weil nicht zur Leitung bestimmt.

Digitized by Google

welche ebenfalls ohne Weiteres einen Aufschluß über den Zusammenhang zwischen chemischer Konstitution und Leitungsgüte nicht gewähren.

Schon deutlicher zeigt sich eine gewisse Abhängigkeit, wenn die einzelnen Elemente verglichen werden.

Der Phosphorgehalt macht gleichzeitig mit der Leitungsgüte einen Sprung zwischen 4 und 5 und zwischen 11 und 12; andererseits liegt ein höherer Phosphorgehalt als ihn Nr. 12 aufzuweisen hat, bereits bei Nr. 10.

Der Kohlenstoffgehalt scheint an sich keinen Einfluß zu üben. Unter den besten Leitungsdrähten findet sich 0,14 an Kohlenstoff, und der schlechteste Draht hat nur 0,11; Nr. 9 steht mit 0,01 unter dem besten Drahte, welcher 0,02 aufweist.

Anders verhält es sich mit dem Mangan. Die bestleitenden vier Drahtsorten zeigen höchstens 0,10 pCt., der Regel nach gar nichts oder nur Spuren; zwischen Nr. 4 und 5 findet ein Sprung von 0,49 statt. Andrerseits fehlt auch hier das charakteristische Merkmal für den Sprung zwischen Nr. 11 und 12; ebenso ist das Steigen des Mangangehalts zwischen Nr. 17 und 18 nicht ausreichend zu der Erklärung des Sprunges der Leitungsgüte, und erst die zwei schlechtesten Drähte zeigen in dem Steigen des Mangangehalts über 1 pCt. hinaus wieder ein charakteristisches Merkmal.

Der Schwefelgehalt tritt bei keiner Drahtsorte bis in die erste Dezimalstelle und schwankt im Uebrigen sehr unregelmäßig.

Der meist sehr geringe Siliciumgehalt scheint ohne einen unmittelbaren Einfluß auf das Verhalten des Drahts als Leiter.

Es bleibt daher nur übrig, ein Zusammenwirken der fremden Elemente des Eisens anzunehmen. Einige Gruppirungen in diesem Sinne zeigt die Tabelle 7.

Tabelle 7.

Laufende Nr. der Tabelle 6	Summe aller fremden Elemente a	Summe der fremden Elemente mit Ausnahme des Kohlenstoffs b	Summe von Mangan und Phosphor c	Leitungsgüte	Gruppe
1	0,109	0,089	0,019	10,11	I
2	0,064	0,044	0,044	9,96	„
3	0,283	0,143	0,123	9,85	„
4	0,052	0,032	0,022	9,70	„
5	0,721	0,711	0,631	9,32	II
6	0,393	0,363	0,363	9,23	„
7	0,413	0,383	0,333	9,00	„
8	0,463	0,443	0,393	8,96	„
9	0,418	0,408	0,318	8,80	„
10	0,428	0,318	0,208	8,70	„
11	0,428	0,398	0,338	8,58	„
12	0,466	0,376	0,266	8,17	„
13	0,388	0,348	0,268	8,02	„
14	0,407	0,347	0,267	7,97	„
15	0,449	0,319	0,229	7,77	„
16	0,605	0,575	0,515	7,60	III
17	0,781	0,731	0,691	7,05	„
18	0,886	0,806	0,786	6,57	„
19	0,665	0,585	0,555	6,46	„
20	1,501	1,341	1,321	5,63	IV
21	1,437	1,327	1,297	5,20	„

Digitized by Google

In dieser Tabelle zeigt behufs leichterer Orientirung die erste Spalte die laufenden Nummern der Tabelle 6, die zweite die Summe aller Elemente außer Eisen (a), die dritte die Summe aller Elemente außer Eisen und Kohlenstoff (b), die vierte die Summe von Mangan und Phosphor (c). Hiernach scheiden sich vier Gruppen der Drähte deutlich ab.

Gruppe I umfaßt die Drähte bester Leitungsgüte 10,11 bis 9,70. Sie ist gekennzeichnet dadurch, daß die Summe a unter 0,3, die Summe b unter 0,15, die Summe c unter 0,13 bleibt.

Gruppe II umfaßt die Drähte von der Leitungsgüte 9,32 bis 7,77. Sie ist gekennzeichnet dadurch, daß die Summe a über 0,3, aber unter 0,5, die Summe b über 0,15, aber unter 0,45, die Summe c über 0,13, aber unter 0,40 liegt. In dieser Gruppe macht Nr. 5 eine durch die Analyse nicht erklärliche Ausnahme.

Gruppe III umfaßt die Drähte von der Leitungsgüte 7,60 bis 6,46. Sie ist gekennzeichnet dadurch, daß die Summe a über 0,5, aber unter 1,0, die Summe b über 0,45, aber unter 0,9, die Summe c über 0,40, aber unter 0,8 liegt.

Die Gruppe IV umfaßt die schlechtestleitenden Drähte, bei denen Gruppe a, b und c über 1 liegen.

Weitere Untersuchungen werden möglicher Weise feststellen, daß es genügen wird, die Summe von Mangan und Phosphor zu ermitteln, um die Leitungsgüte, soweit sie von der chemischen Zusammensetzung überhaupt abhängig ist, zu bestimmen.

Diese Resultate stimmen im Wesentlichen mit den Ergebnissen der Prüfungen, welche Hughes angestellt hat*). Die von diesem untersuchten Drähte waren von der Firma Smith & Co. in Halifax geliefert worden. Die Resultate der chemischen Analyse sind dem Leitungswiderstande für gleiche Länge und gleichen Querschnitt in der folgenden Tabelle gegenüber gestellt.

Tabelle 8.

Laufende Nr.	Art des Eisens	Widerstand pro engl. Meile und bei 0,40 Dtr. Ohm	Kohlenstoff	Silicium	Schwefel	Phosphor	Mangan	Kupfer	Eisen
1	Schwed. Eisen 1. Qual.	191,52	0,09	Spur	Spur	0,012	0,06	Spur	99,69
2	„ „ 2. „	198,40	0,10	Spur	0,022	0,045	0,03	Spur	99,70
3	„ „ 3. „	199,62	0,15	0,018	0,019	0,058	0,234	Spur	99,44
4	„ „ Siemens-Martin	226,32	0,10	Spur	0,035	0,034	0,324	Spur	99,60
5	Puddeleisen 1. Qual.	259,92	0,10	0,09	0,03	0,218	0,234	0,015	99,11
6	Weiches Bessemereisen 1. Qual.	266,52	0,15	0,018	0,092	0,077	0,72	Spur	98,74
7	Hartes „ 1. „	312,69	0,44	0,028	0,126	0,103	1,296	Spur	98,20
8	Tiegelgußstahl	350,08	0,62	0,06	0,034	0,051	1,584	Spur	97,41

Auch hier spielt der Mangangehalt und bei annähernd gleicher Höhe desselben der Phosphorgehalt die Hauptrolle.

*) Ber. der Kgl. techn. Deput. f. Gewerbe.

Digitized by Google

B. Zusammenhang zwischen dem Kleingefüge und der Leitungsgüte des Drahtes.

So wenig Schwierigkeiten die Untersuchung und Beurtheilung des Kleingefüges von Roheisen und kohlenstoffreicherem Stahle bereitet, so großen Hindernissen begegnet die Mikroskopie des weichen schmiedbaren Eisens, zumal eines so reinen Materiales, wie es das zu Telegraphendrähten allein verwendbare ist.

Schon die Herstellung geeigneter Schliffe ist wegen der Weichheit des Eisens äußerst schwierig. Trotz der Anwendung so fein als möglich gepulverter, durch Schlemmung gereinigter und sorgfältig sortirter Polirmittel, gelingt die Herstellung vollkommen ebener und rißfreier Schliffe nur mit großer Geduld und Mühe.

Eine einzige zufällige Ungleichheit im Korne des Polirmittels, ein zugeflogenes Staubkörnchen harten Materials machen oft eine tagelange Arbeit vergeblich.

Die Entstehung von Schleifrissen wird durch einzelne Eisentheile, welche weicher als die Grundmasse sind, durch Blasenräume, Schlackeneinschlüsse u. s. w. wesentlich begünstigt. Dennoch ist es nöthig, auch bei ganz weichem Material eine vollkommen spiegelnde Oberfläche hervorzurufen, da die Feinheiten des Kleingefüges nur dann im reflektirten Lichte deutlich erkennbar sind.

Im vorliegenden Falle waren von den 25 Drähten je ein Längs- und ein Querschnitt genommen und polirt worden. Leider unterlagen die vorzüglich gelungenen Schliffe dem Einflusse der Atmosphäre und bedeckten sich mit Rostflecken, nachdem sie zwar bereits mikroskopisch untersucht, aber noch nicht abgebildet waren. Bei der inzwischen wechselnden Person des Schleifers gelangen die neu hergestellten Schliffe keineswegs vollständig, wie bei den Abbildungen näher erläutert werden wird; indessen wurde aus der an sich so unangenehmen und zeitraubenden Nothwendigkeit, die Oberflächen nochmals abzuschleifen und zu poliren, doch eine sehr wichtige Gewißheit gewonnen; nämlich die, daß thatsächlich die frischen Bilder genau den vorher vorhanden gewesenen entsprachen, daß also das gewonnene mikroskopische Bild nicht etwa von äußeren Zufälligkeiten abhängig ist.

Die fertig polirten Schliffe bedürfen einer sehr sorgfältigen Reinigung von anhaftendem Polirmittel, Fett u. s. w., ehe sie zur Aetzung geeignet sind. Diese geschieht unter fortwährender Beobachtung durch die Lupe in verdünnter Salzsäure (0,5 ccm in 1000 ccm destillirtem, luftfreiem Wasser) 2 Minuten lang. Die nach dem Abspülen durch Wasser, Alkohol und Aether vollkommen getrocknete Oberfläche muß noch vollständig spiegelblank erscheinen. Nur fremde Bestandtheile, Schlacken u. s. w. sind ausgefressen und haben Hohlräumen, Rissen u. s. w. Platz gemacht. Die Eisenbestandtheile selbst zeigen höchstens den Eindruck eines schwachen Moirées, wenn man den Schliff ohne Vergrößerungsglas betrachtet. Auch unter dem Mikroskop wird das Bild noch nicht deutlich genug. Die gleichartigen Farbentöne der verschieden angegriffenen Eisenbestandtheile verhindern oft die Unterscheidung.

Deshalb erfolgt nunmehr das Anlassen der Schliffe in einem ganz gleichmäßig auf eine bestimmte Temperatur, der Regel nach 210° C., erhitzten Luftbade unter geregeltem Luftzutritt. Die verschiedenen Eisenbestandtheile erhalten hierbei verschiedene Anlauffarben. Untersuchungen gleicher Schliffe mit abweichenden Anlauffarben haben

Digitized by Google

ausreichend bewiesen, daß die Farbe an sich zwar nicht charakteristisch ist, wohl aber die Reihenfolge der Farben. So sind z. B. bei schwachem Anlaufenlassen zwei Bestandtheile, welche neben einander liegen, gelb und grün, während dieselben Bestandtheile bei starkem Anlaufenlassen blau und violett erscheinen. Hierdurch erlangt der Schliff die geeignete Beschaffenheit zur mikroskopischen Untersuchung des Kleingefüges.

Diese Schliffe, welche zur Erhaltung des klaren Bildes nicht mit einem deckenden Firniß, höchstens nur mit einer unmerklichen Fettschicht überzogen werden dürfen, sind trotz aller Vorsichtsmaßregeln (Aufbewahrung in Glaskästen neben gebranntem Kalk u. s. w.) dem Rosten um so mehr ausgesetzt, je kohlenstoffärmer und je manganreicher das Eisen ist.

Deßhalb wird die bildliche Darstellung erforderlich. Das Zeichnen gewährt zwar den Vortheil, nur das Charakteristische des Schliffes wiedergeben zu können, ist indessen doch sehr abhängig von dem Geschick und der Uebung des Zeichners.

Aus diesem Grunde lag der Gedanke nahe, die Photographie anzuwenden. Da die Farben Unterscheidungsmerkmale abgeben, so konnte erst von der Zeit an, zu der Professor Vogel an der technischen Hochschule die farbenempfindlichen Trockenplatten erfand, Aussicht auf Erfolg entstehen. Thatsächlich zeigten sich auch die mit Erythrosinsilber getränkten Platten vollständig geeignet.

Eine weitere Schwierigkeit entstand indessen durch die Nothwendigkeit, den Schliff unter reflektirtem Lichte, und zwar unter dem mit einem ganz bestimmten Winkel auffallenden Lichte zu beobachten und zu photographiren.

Wird ein angelassener Schliff unter dem Mikroskop bei senkrechter Lage zur Axe des letzteren betrachtet, so entsteht nur ein Bild Grau in Grau; erst wenn der Schliff mehr und mehr geneigt wird, beginnen die Farben aufzutreten und erreichen das Maximum ihrer Intensität, wenn der Schliff eine Neigung von 38 bis 40° besitzt, der Reflexionswinkel also 50 bis 52° beträgt. Bei einer solchen Stellung kann man indessen nur einen ganz schmalen Streifen gleichzeitig beobachten und muß, um den ganzen Schliff zu erkennen, das Mikroskop beständig stellen. Auch dies erschwert das Zeichnen ungemein.

Wiederum war es das Verdienst des Herrn Professors Vogel den Verfasser auf die Möglichkeit aufmerksam zu machen, durch Schrägstellung der Bildfläche im photographischen Apparat dem Uebelstande zu begegnen. So entstand der nachfolgend beschriebene

Mikrophotographische Apparat,

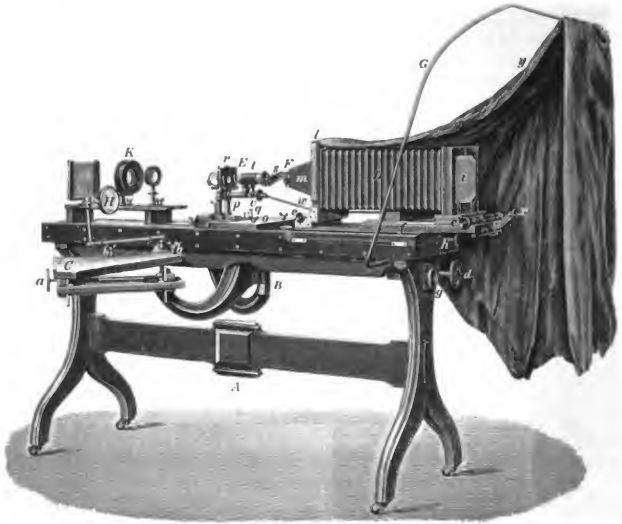
welcher auf Seite 14 und 15 in zwei Ansichten dargestellt ist.

Derselbe ist in seinen wesentlichsten Theilen nach den Angaben des Verfassers von A. Stegemann (Berlin S. Oranienstraße 151) angefertigt worden. Das Mikroskop ist von Seibert in Wetzlar, der Spiegelapparat von Schmidt und Hänsch (Berlin S. Stallschreiberstraße 4), die Magnesiumlampe von Rey (Berlin SW. Wilhelmstraße 34).

Der ganze Apparat befindet sich auf einem sehr fest zusammengefügten vierfüßigen, auf Rollen laufenden Tische A, welcher eine leichte Veränderung des Standortes gestattet, ohne daß dabei eine Verrückung der eingestellten Vorrichtungen zu fürchten wäre.

Digitized by Google

An demselben ist mit einem kräftigen eisernen Arme, welcher um ein Scharnier B drehbar ist, der als Träger der Lichtquelle bestimmte Tisch C befestigt. Die Platte des Tisches ist durch Drehung der Getriebewelle mittelst des Handrades a parallel auf- und abwärts stellbar. Die abgeschrägten Kanten der Platte gestatten einen möglichst großen Ausschlag bei der Drehung. Für besondere Stellungen der Lichtquelle kann noch eine zweite Platte mittelst der Flügelschrauben b b befestigt werden. Der ganze Beleuchtungs-



tisch läßt sich durch das Handrad d bequem vom Platze des Beobachters aus um das Scharnier B drehen.

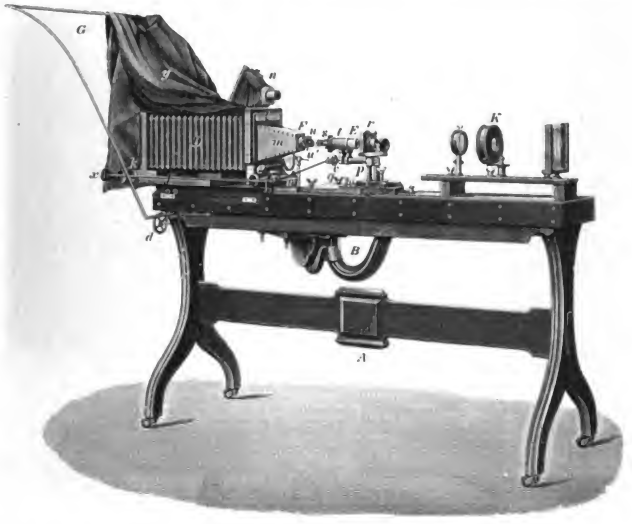
Auf dem Apparatentische ist zuvörderst die Kammer D angebracht. Sie ist so eingerichtet, daß die Falten des Leders in keiner Stellung den inneren Raum verengen und etwa den durchgehenden Lichtkegel unterbrechen können. Stellbar ist an demselben sowohl die Vorder- wie die Hinterplatte in der Längsrichtung parallel zu sich selber. Hierzu dienen die Handrädchen e und e'. Eine Ausziehplatte f gestattet die weitere Verlängerung der Kammer. Ferner ist die ganze Kammer senkrecht auf- und abstellbar. Hierzu dient das Handrädchen g. Sodann kann sie parallel zu ihrer Längsaxe seitwärts verschoben werden. Diese Bewegung wird durch Drehung des Handrädchens h vermittelt. Endlich ist die matte Platte i, welche im Uebrigen, wie bei jedem photographischen Apparat, mit dem Rahmen für die Aufnahme der lichtempfindlichen Platte

Digitized by Google

verbunden, und im Scharniere aufklappbar ist, um ihre vertikale Are drehbar. Diese Schrägstellung wird durch Drehung des Rädchens k vermittelt.

An der Vorderplatte der Kammer l wird entweder das an einem pyramidal zulaufenden Kasten m befindliche Objektiv oder das in nachstehender Ansicht gleichzeitig lose mit abgebildete konische Faltenstück n ohne Linse angebracht.

Der zweite auf dem Apparatentische befindliche Theil ist der Objekt- und Mikroskop-



träger E. Die Grundplatte o desselben ist in verschiedenen Entfernungen von der Kammer durch Flügelschrauben zu befestigen. Mit ihr ist unverrückbar der Ständer p verbunden. Einige Oeffnungen in derselben gestatten noch die bequeme und handliche Aufbewahrung der zur Drehung und Feststellung der Objekte nöthigen Schrauben, Halter und Schlüssel (q).

Der Ständer trägt den Mikroskoptisch r. Dieser besteht aus zwei quadratischen Platten, deren eine um ein vertikales Scharnier drehbar ist und sich mittelst eines getheilten Bügels in genau bestimmbare Winkel bringen läßt. Er dient dazu, die für die beste Beleuchtung und Farbenspiegelung günstigsten Winkel zu ermitteln. Diese Platte wird entfernt und durch den Stellapparat s ersetzt, wenn mit dem Mikroskop gearbeitet werden soll. Dieses letztere, ein Klappmikroskop, welches nach Einstellung in vertikaler Richtung ohne Aenderung der Sehweite eine Umstellung in horizontaler

Digitized by Google

Richtung gestattet, wird dann in die Hülse t, welche mit dem Ständer p durch horizontale Scharniere verbunden ist, eingelegt, das zur vorhergehenden Einstellung benutzte Okular wird entfernt und die Mündung des Faltenconus n in das Mikroskoprohr eingeschoben, um eine dem Tageslicht unzugängliche Verbindung mit der Kammer herzustellen.

Wird dagegen mit dem Steinheilobjektiv aufgenommen, so bleibt der Mikroskoptisch unbenutzt. Es wird dann die einfache Mikroskoprohrhülse t als Halter für den Stellapparat benutzt.

Dieser letztere gestattet erstens eine Drehung des Objekttischchens, an welches das Objekt mit Schrauben und Klemmen befestigt wird, um seine Horizontalachse, zweitens eine Schrägstellung des Tischchens um die Vertikale, drittens eine Drehung um die mittlere Horizontale, viertens eine vertikale Auf- und Abstellung. Eine Horizontalverschiebung, welche man noch vermissen könnte, war im vorliegenden Falle nicht nöthig, da sich die Kammer seitlich verschieben läßt.

Die Feinstellung des Objekts geschieht in der Horizontalachse durch eine feine Schraube v, welche vom Sitze des Beobachters aus mittelst des durch Universalgelenk w mit ihr verbundenen Handrädchens x bewegt werden kann.

An der Objektivhülse oder an dem Mikroskopobjektiv ist der Spiegelapparat F angebracht Der Spiegel, welcher in der Achse des Objektes unbelegt ist, läßt sich vermittelst eines die Objekthülse umschließenden Ringes drehen und ferner um zwei Zapfen, die in den Armen u und u^1 laufen, in beliebigem Winkel einstellen.

Schließlich ist der Apparatentisch mit dem Gestell G ausgerüstet, welcher das Decktuch y trägt, unter dem der Beobachter, vor Tageslicht geschützt, mit beiden Händen frei arbeiten kann.

Wenn mit Lichtkonzentrationslinse H gearbeitet werden soll — der Regel nach ist dieselbe mit der Lampe verbunden —, so wird diese am Beleuchtungstisch C, an dem sie nach allen Richtungen hin verschiebbar ist, angebracht.

Der der Vollständigkeit wegen mit abgebildete Theil K des Apparates dient zur Aufnahme von Dünnschliffen bei durchfallendem Licht und kommt für die Eisenschliffe nicht zur Anwendung.

Die

Benutzung des Apparates

bedarf noch einiger Erläuterungen. Der Vorschlag des Herrn Professors Vogel, das Bild des ganzen schräg eingestellten Schliffes durch umgekehrte Schrägstellung der lichtempfindlichen Platte klar zu bekommen, ließ sich wegen des viel zu großen Winkels nicht in dem erhofften Maße verwirklichen.

Dagegen wurde mit vollständigem Erfolge dieser Gedanke mit einem Vorschlage des Herrn Haensch vereinigt, das Objekt zwar im Wesentlichen in vertikaler Richtung zur Objektivlinienare zu lassen, die Beleuchtung aber durch Spiegelreflex unter dem erforderlichen Winkel vorzunehmen.

Da indessen ganz geringe Abweichungen von dem günstigsten Beleuchtungswinkel sehr erhebliche Verringerung der Farbenwirkung im Gefolge haben, so läßt sich

Digitized by Google

auch mit dieser, jetzt stets gebrauchten Einrichtung nicht ohne äußerst feine Einstellung des Winkels arbeiten. Zu diesem Zwecke sind auch dann die zahlreichen Stellvorrichtungen nicht entbehrlich. Nach der Grobeinstellung erfolgt die Feineinstellung für Beleuchtung und Klarheit des Bildes auf der Mattplatte lediglich durch den Beobachter selbst von dessen Platze aus.

Eine große Schwierigkeit liegt indessen noch in der Belenchtnng selbst. Petroleumlicht ist unzureichend, elektrisches Licht steht nicht zu Gebote, es blieb daher nur Magnesiumlicht übrig. Die an sich vorzügliche Lampe von Ney hat selbst bei Anwendung des besten Magnesiumflachdrahtes kein genügend gleichmäßiges Licht; erstens schwankt der Ort, an welchem die Verbrennung vor sich geht in der Horizontalen und Vertikalen, zweitens brennt je nach dem Abzuge des Magnesiarauches das Licht weißer oder gelber, und endlich sind plötzliche und unerwartete Erlöschungen, theils infolge von Enden, theils infolge oft unwesentlicher Störungen im Triebwerke der Lampe unvermeidlich.

Aus diesem Grunde ist der von glücklichem Erfolge gekrönte Versuch der Herren Schmidt und Hänsch, zu gleichem Zwecke durch Leuchtknallgas glühend gemachte Zirkonerde anzuwenden und einen unbelegten Spiegel zu benutzen, als erheblicher Fortschritt zu begrüßen. Die nöthigen Vorkehrungen für den beschriebenen Apparat zur Anwendung dieser Belenchtungsart sind bereits getroffen.*)

Die Ergebnisse

der mikroskopischen Untersuchung sind im vorliegenden Falle folgende gewesen:

1. Je feinkörniger das Kleingefüge des Eisens ist, um so höher liegt seine Leitungsgüte.

2. Bei gleichkörnigem Kleingefüge wächst die Leitungsfähigkeit mit der Gleichmäßigkeit des Gefüges.

3. Gleichmäßig vertheilte kleine Unterbrechnngen des Gefüges (Blasen, Schlackenlöcher, Schweißfugen) haben keinen erheblichen Einfluß auf Verminderung der Leitungsgüte.

4. Große Blasen und Schweißfugen üben nur geringen Einfluß auf Verminderung der Leitungsgüte, wenn sie vereinzelt auftreten.

5. Zahlreiche und auf längerem Verlauf der Längsrichtung auftretende Schlackenrisse und Schweißfugen vermindern die Leitungsgüte erheblich.

6. Durchgehende Querrisse vermindern die Leitungsgüte am meisten.

Die vier letzteren Grundsätze dürfen nur bedingungsweise aufgefaßt werden. Der Widerstand wird allgemein im Verhältnisse zu der Verminderung der Metallmasse im Querschnitt stehen. Eine große Blase muß daher bei gleichem Drahtquerschnitte genau so wirken, wie zahlreiche kleine Blasen von gleichem Gesammtquerschnitte. Wahrscheinlich vermindert sich aber beim Ziehen der Querschnitt nach dem Durchgange durch das Zieheisen da, wo ein großer Hohlraum eingeschlossen war, der sich dann bei der Abkühlnng zusammenzieht. Hierauf deuten wenigstens mikroskopische Messungen.

Nicht in unmittelbaren Einklang lassen sich diese Regeln mit Versuchen von Tomlinçon (Proc. Royal Soc. 1881) und Mousson (Neue Schweiz. Zeitschrift 1855)

*) Der Belenchtungsapparat steht jetzt (Mitte Jannar) in Anwendung.

Digitized by Google

bringen, nach denen der Widerstand des Eisens bei der Dehnung überhaupt zunimmt, und zwar bei der Belastung mit 1 g pro qcm um $2111 \cdot 10^{-12}$, womit dann auch Mousson's Angabe stimmt, daß der spez. Widerstand der Eisendrähte durch das Ziehen vermehrt wird, während doch die Dichtigkeit und Feinkörnigkeit durch wiederholtes Ziehen wächst.

Mousson fand bei einer Querschnittsverminderung von 1,9158 bis 0,6668 einen von 1,61718 auf 1,7329, also um 7 Prozent steigenden Widerstand. Dem entsprechend ist auch in der Elektrotechnik allgemein bekannt, daß der spezifische Widerstand der Eisendrähte durch Hämmern und Aufwickeln vermehrt werden kann. Alle diese Vorgänge werden aber voraussichtlich auf Verkleinerung der Hohlräume und auf feinkörniges Gefüge wirken. Hier bleibt also ein Widerspruch durch weitere Versuche aufzuklären.*)

Die Ergebnisse im Einzelnen

sind in der folgenden Tabelle 9 zusammengestellt. Die in der ersten Vertikalspalte aufgeführten Zahlen sind wieder die gleichen wie bei Tabelle 6 und 7.

*) Ver. der Kgl. techn. Deput. f. Gewerbe.

Tabelle 9.

Laufende Nr.	Ursprung	Eisenart	Mikroskopisches Bild des Längsschnitts	Photogramm des Längsschnitts
1	S	S	Sehr feinkörnig, sehr gleichmäßig. Schweißfugen ganz parallel, sehr schwach	Sehr gleichmäßig. Die Schweißfugen sind nur durch Streifung angedeutet. Die Zeichnung a ist Folge einer Verletzung der Oxydationshaut.
2	S	S	Sehr feinkörnig, sehr gleichmäßig Schweißfugen parallel, sehr schwach. Einige rosenartige Absonderungen am Rande.	Sehr gleichmäßig. Die Schweißfugen sind nur durch Streifung, aber stärker als bei 1, angedeutet. Die rosenartige Absonderung bei b ist dem Eisen eigentümlich.
3	S	F	Weniger feinkörnig, kleine weiße Schlackenflecke. Schweißfugen fehlen.	Gleichmäßig, Schweißfugen fehlen. Im Gefüge zahlreiche kleine Löcher.
4	S	F	Wie 3, jedoch reichlichere Schlackenflecke.	Wie 3, häufigere Löcher.
5	D	F	Durch Grobkörnigkeit erheblich von 1—4 unterschieden. Deutliches Flußeisengefüge, zahlreiche Löcher von sehr kurzer Längserstreckung.	Dem mikroskopischen Bilde entsprechend.
6	D	F	Korn wie bei 5, aber ungleichförmiger. Hier treten zum ersten Male längere Gefügeunterbrechungen als langgestreckte Spalten auf.	Dem mikroskopischen Bilde entsprechend. Die Spalten und Löcher bilden deutliche fortlaufende Reihen in der Längsrichtung.
7	D	F	Wie Nr. 6, einige stärkere Spalten, in der Mitte einen Streifen, der aus rundlichen Körner zusammengesetzt ist, und in 7a als Riß erscheint.	Spalten wenig, Längsstreifen deutlich sichtbar, in 7a an Stelle desselben ein deutlicher Spalt.
8	D	F	Verhältnißmäßig gleichförmig in 8, dagegen mit Längsreihen von Vertiefungen in 8a.	Gleichförmig, einige größere Schlacken oder Blasenräume, die in 8a reihenförmig auftreten.

Digitized by Google

In der zweiten Spalte ist durch S die schwedische, durch D die deutsche Herkunft des Drahts gekennzeichnet.

Spalte 3 giebt die Art des Eisens (Fluß- F oder Schweißeisen S) und Spalte 8 nochmals die Leitungsgüte an.

Spalte 4 und 5 enthalten den mikroskopischen Befund am Längsschnitt, und zwar 4 nach dem Augenschein, 5 unter Beznahme auf die Photogramme Taf. 2 bis 8. Ebenso sind Spalte 6 und 7 in Bezug auf den Querschnitt angeordnet. In Spalte 9 ist auf diejenigen Abweichungen aufmerksam gemacht, welche die einzelnen Schliffe von den vorher aufgestellten Regeln ergeben haben. Diese Abweichungen können nicht auffallen, da die Zahl der untersuchten Drähte eine sehr geringe ist. In der 10. Spalte sind die Nummern der Tafeln angegeben.

Die mikroskopische Beobachtung wurde bei fünfzigfacher Vergrößerung vorgenommen, während die Photographie unter nur elffacher Vergrößerung ausgeführt wurde, um die ganze Breite des Drahts in das Gesichtsfeld zu bekommen. Die Besichtigung der Photogramme durch die Lupe bietet ungefähr das Bild der verstärkten Vergrößerung durch das Mikroskop.

Tabelle 9.

Mikroskopisches Bild des Querschnitts	Photogramm des Querschnitts	Leitungsgüte	Abweichungen von der Regel und andere Bemerkungen	Tafel Nr.
Sehr feinkörnig, sehr gleichmäßig, einige kleine kreisförmige Schlackeneinschlüsse, keinerlei Unterbrechung des Gefüges.	Sehr gleichmäßig. Der Querschnitt der Schweißfugen zeigt sich in Form von Punkten.	10,11		2
Nicht so gleichmäßig und feinkörnig wie 1, keine Unterbrechung des Gefüges.	Weniger gleichmäßig als 1. Die Schweißschlackenpunkte, welche bei 1 vereinzelt auftreten, reihen sich hier zu Linien aneinander, z. B. bei c.	9,96		2
Grobkörniger als 2, keine Gefügeunterbrechungen Schwarze und weiße Schlackenpunkte und fleckenartige Einschlüsse.	Weniger gleichmäßig als 2. Zahlreiche kleine Punkte (Löcher). d ist ein Schleifriß.	9,85		2
Wie 3.	Ungleichmäßiger als 3, und größere Löcher.	9,70	Das Eisen erscheint ungleichmäßiger, als es die hohe Leitungsfähigkeit erwarten lassen sollte.	2
Grobkörniger als 4, indessen freier von Einschlüssen. Sehr deutliches Flußeisengefüge (Krystalleisen von Homogeneisennetz eingeschlossen).	Dem mikroskopischen Bilde entsprechend. Die Flecke f sind Aetzfehler.	9,32	Der geglühte Draht 5a unterscheidet sich nicht merklich von dem ungeglühten.	3
Recht ungleichförmig. Das Krystalleisen tritt zerstreut und ungleichförmig vertheilt in Homogeneisen auf. Einige große Blasenräume.	Dem mikroskopischen Bilde entsprechend. Eine halb kreisförmige Gruppe von Blasenräumen.	9,23		3
Gleichmäßiger als 6, aber noch großlöchriger, Mittelader auch hier sichtbar.	Einige Risse, namentlich am Rande sichtbar; Mittelader deutlich. 7a schlechtes Photogramm.	9,00	Der geglühte Draht 7a zeigt an Stelle der Mittelader einen deutlichen, sehr starken Riß.	4
Gleichförmig, aber löcherig in 8, mit vielen fleckenartigen Aussonderungen in 8a.	Gleichförmig in 8, grobkörnig und fleckig in 8a.	8,96	Die gegen die vorhergehenden Proben geringere Leitungsgüte erscheint durch das Gefüge nicht gerechtfertigt. Der geglühte Draht 8a ist lockerer im Gefüge.	4

Digitized by Google

Tabelle 9.

Laufende Nr.	Ur-sprung	Eisen-art	Mikroskopisches Bild des Längsschnitts	Photogramm des Längsschnitts
9	D	F	Grobes Korn, aber ziemlich gleichförmig, dagegen durch mächtige Spalten unterbrochen.	Die Spalten treten sehr deutlich hervor.
10	D	S	Streifig, längsrissig, Löcher langgezogen.	Dem mikroskopischen Bilde entsprechend, Struktur indessen undeutlich, neben runden länglich Blasenräume.
11	D	F	Zahlreiche, auch größere Löcher, aber ohne bestimmte Anordnung oder Zusammenhang.	Undeutliches Photogramm durch Mangel an Licht (in Schatten der unbelegten Spiegelstelle).
12	D	S	Streifig, mit vielen Schweißfugen, längsrissig.	Längsrisse deutlich
13	D	S	Anscheinend etwas weniger Schweißfugen als 12.	Deutliche Längsanordnung der Schweißstellen. Ungleichmäßige Struktur.
14	D	F	Viele tiefe Längsstreifen und Löcher, gewährt fast den Eindruck von Schweißeisen.	Streifig, indessen in dem Photogramm deutlicher, als in dem mikroskopischen Bilde als Flußeisen zu erkennen.
15	D	S	Anscheinend etwas weniger unterbrochenes Gefüge, als Nr. 14, aber dennoch viele streifenförmig angeordnete Schweißfugen.	Dem mikroskopischen Bilde entsprechend.
16	D	F	Ziemlich gleichmäßiges Korn, indessen einige lang ausgedehnte Risse.	Aehnlich Nr. 14, aber unregelmäßiger gestreift.
17	D	F	Gleichmäßig im Gefüge, indessen ungleich große Körner.	Wenig deutlich angelassen.
18	D	F	Einzelne große Längsrisse, sonst gleichmäßig.	Die Risse sind kaum sichtbar.
19	D	F	Ungleichmäßig und von sehr grobem Korne, aber sonst nicht wesentlich unterbrochen.	Gefüge deutlich erkennbar.
20	D	F	Sehr ungleichförmig, aber ohne tiefe durchlaufende Risse.	Undeutliches Photogramm (matter Schliff).
21	D	F	Ungleichförmig, mit tiefen, durchgehenden Rissen von großer Feinheit.	Die Risse sind kaum erkennbar.

Zusammenhang zwischen Kleingefüge, chemischer Zusammensetzung und Leitungsfähigkeit.

Obwohl die mikroskopischen Ergebnisse ebensowenig für sich allein, wie die chemischen, einen hinreichenden Aufschluß über die Leitungsgüte des Drahtes geben, so läßt sich schon ein vollkommeneres Bild des Zusammenhangs durch die Verbindung beider erhalten.

Der Sprung zwischen Gruppe I, Nr. 1 bis 4 und den folgenden Nummern liegt

Digitized by Google

Tabelle 9.

Mikroskopisches Bild des Querschnitts	Photogramm des Querschnitts	Leitungsgüte	Abweichungen von der Regel und andere Bemerkungen	Tafel Nr.
Ungleichförmig, starke Risse und Spalten.	Schlackentheile in Reihen h und starke Spalten, besonders am Rande i.	8,80	Das Eisen gehörte nach seinem Aussehen zu einer weit niedigeren Leitungsgüte.	5
Grobkörnig, ungleichförmig, wenig Risse, aber viel Blasenräume.	Struktur scheinbar feinkörniger, als im Längsschliff. Zahlreiche Blasenräume.	8,70		5
Streifig, vereinzelte große Löcher.	Undeutliches Photogramm; nur die Blasenräume sind kenntlich.	8,58		5
Grob. Große Löcher zwischen den Körnern	Dem mikroskopischen Bilde entsprechend.	8,17		5
Grob. Einzelne große Löcher, weniger als Nr. 12.	Viele Schlackeneinmengungen.	8,02	Sollte dem Aussehen nach in der Leitungsgüte über Nr. 12 stehen.	6
Sehr löchrig, oft große Löcher.	Undeutliches Photogramm wegen Lichtmangel (matter Schliff).	7,97		6
Löchrig, dabei einzelne sehr große Löcher.	Dem mikroskopischen Bilde entsprechend; sehr großes Loch n.	7,77		6
Mehrfache große Unterbrechungen des Gefüges, hauptsächlich in einem Querstreifen angeordnet.	Dem mikroskopischen Bilde entsprechend, indessen ist die Anordnung des Querstreifens nicht erkennbar.	7,60	Die Schliffe von 16a waren zu weich, um sich glänzend poliren zu lassen, daher sind die zugehörigen Photogramme undeutlich.	7
Ziemlich gleichmäßig, wenn auch grobkörnig. Wenige Löcher, einzelne Schlackeneinschlüsse	Dem mikroskopischen Bilde entsprechend, indessen anscheinend ungleichförmigeres Korn zeigend.	7,46	Dem Aussehen nach gehört der Draht in eine höhere Stufe der Leitungsgüte.	7
Stellenweis ungleichförmig, an anderen Stellen gleichförmiger.	Die Ungleichförmigkeit zeigt sich besonders an der Stelle r.	6,57	Auch dieses Eisen sollte dem Aussehen nach höher stehen.	7
Grobkörnig, aber ziemlich gleichförmig.	Undeutliches Photogramm (matter Schliff).	6,46	Dem Aussehen nach einer höheren Leitungsgüte entsprechend.	8
Sehr ungleichförmig, aber ohne besondere Unterbrechungen.	Undeutliches Photogramm (die dunklen Linienzeichnungen sind Schleiffehler).	5,63	Das Aussehen ist zwar schlechter als von 17, 18 und 19, jedoch nicht so erheblich, um daraus die geringe Leitungsgüte schließen zu können.	8
Mehrfache durchgehende Störungen.	Namentlich eine gabelförmige Störung deutlich (s), sonst wegen Mattigkeit des Schliffs kein gutes Photogramm.	5,20		8

nicht nur in der chemischen Zusammensetzung, sondern auch in dem Kleingefüge begründet. Die chemische Zusammensetzung von Nr. 4 erklärt die hohe Leitungsgüte trotz des ungleichmäßigen Kleingefüges.

Nr. 5 steht chemisch viel tiefer, als es der Leitungsreihe nach zu finden ist, dagegen zeigt es mikroskopisch zwar eine tiefere Stellung als Nr. 4, würde aber doch seiner Freiheit von Einschlüssen und der Kleinheit der Hohlräume wegen eine günstigere Beurtheilung finden, als die meisten in der Leitungsgüte tiefer stehenden Drahtarten.

Digitized by Google

Die Grenze zwischen Gruppe II und III ist klar durch das Kleingefüge gekennzeichnet, aber auch der oben angegebene Sprung zwischen Nr. 11 und 12 in Gruppe II ist deutlich aus dem Kleingefüge abzuleiten.

Die Nr. 20 und 21 sind der chemischen Zusammensetzung entsprechend so erheblich schlechter im Kleingefüge, daß ihre Abtrennung als Gruppe IV schon hierdurch gerechtfertigt erscheint. Der Sprung zwischen Nr. 17 und 18 innerhalb der Gruppe III erklärt sich durch die wesentlich größere Ungleichförmigkeit von Nr. 18.

Schlußfolgerungen über die Anforderungen, welche an einen Draht von bestimmter Leitungsgüte bezüglich seiner Festigkeit, seiner chemischen Zusammensetzung und seines Kleingefüges zu stellen sind.

Obwohl wiederholt hervorgehoben ist, daß die Anzahl der untersuchten Telegraphendrähte nicht genügt, um endgültige Schlußfolgerungen über die Abhängigkeit der Leitungsgüte von den Festigkeitseigenschaften, der chemischen Zusammensetzung und dem Kleingefüge zu ziehen, so werden doch schon die gewonnenen Grundlagen, wenn sie auch der Ergänzung bedürfen und der Verbesserung fähig sind, für Fortschritte in der Darstellung von Drähten hoher Leitungsgüte aus deutschem Materiale nicht ohne Werth für Drahtfabrikanten sein.

In der folgenden Tabelle 10 sind daher die anscheinend wichtigsten Eigenschaften zusammengetragen und zwar nur für die Drähte im Anlieferungszustande.

Tabelle 9.

Laufende Nr.	Leitungsgüte	Bruchspannung kg/qmm	Dehnung beim Bruche %	Summe aller fremden Elemente 1/1000	Summe von Mangan und Phosphor 1/1000	Kleingefüge	Gruppe
1	10,11	33,7	12,1	89	19	Sehr feinkörnig und sehr gleichmäßig	I
2	9,96	32,7	21,2	44	44	„ „ „ „ „	„
3	9,85	37,2	25,0	143	123	Mittelkörnig, gleichmäßig	„
4	9,70	35,9	13,4	32	22	„ „	„
5	9,32	45,1	10,7	711	651	Grobkörnig, kleinlöchrig	II
6	9,23	36,6	17,2	363	363	„ spaltig	„
7	9,00	40,8	12,3	383	333	„ „	„
8	8,96	39,2	13,5	443	393	„ „ und löchrig	„
9	8,80	36,3	16,4	408	318	„ „ ungleichförmig	„
10	8,70	35,8	13,8	318	208	„ „ „	„
11	8,58	38,3	14,5	398	338	„ groblöchrig	„
12	8,17	41,2	9,6	376	266	„ „	„
13	8,02	40,7	8,8	348	258	„ „	„
14	7,97	38,3	16,5	347	267	„ „	„
15	7,77	41,0	9,6	319	229	„ „	„
16	7,60	41,9	11,9	575	515	„ querrissig	III
17	7,05	44,5	13,7	731	691	„ ungleichförmig	„
18	6,57	46,1	13,6	806	786	„ „	„
19	6,49	42,2	12,7	585	555	Sehr grobkörnig, ungleichförmig	„
20	5,63	96,9	5,7	1341	1321	„ „ sehr ungleichförmig	IV
21	5,20	102,8	4,3	1327	1297	„ „ durchgehende Störungen	„

Digitized by Google

Diese Tabelle giebt zu folgenden Schlußfolgerungen Veranlassung, welche bei Vergleichen mit anderen Drähten an der Hand der vorhergehenden Tabellen ins Einzelne zu verfolgen sind.

1. Ein Draht erster Leitungsgüte (9,70 und mehr) darf keine höhere Bruchspannung als 36, keine geringere Dehnung als 12 haben, die Summe aller fremden Elemente darf nicht 150, die Summe von Mangan und Phosphor nicht 125 übersteigen, das Kleingefüge muß gleichmäßig, feinkörnig, ohne Spalten, Risse und Löcher sein.

2. Ein Draht zweiter Leitungsgüte (7,77 bis 9,32) darf keine höhere Bruchspannung als 45,1, keine geringere Dehnung als 17,2 haben, darf zwar im Kleingefüge grobkörnig sein, muß aber gleichzeitig gleichmäßig erscheinen. Die chemische Zusammensetzung darf nicht über 450 in der Summe aller fremden Elemente und 400 in der Summe von Mangan und Phosphor aufweisen.

3. Ein Draht gehört in die dritte Gruppe der Leitungsgüte, wenn, trotzdem er eine der zweiten Gruppe entsprechende Bruchspannung und Dehnung hat, er bei grobkörnigem Kleingefüge ungleichförnig oder querrissig ist.

4. Eine Bruchspannung über 50, eine Dehnung unter 8, die Summe aller Elemente, oder von Mangan und Phosphor allein über 1000, ein sehr grobkörniges und dabei sehr ungleichförmiges Kleingefüge machen einen Draht zur elektrischen Leitung überhaupt ungeeignet (Gruppe IV).

Nicht zu erklären ist die Ausnahmestellung des Drahtes Nr. 5, welcher mindestens in Gruppe III gehören sollte. Sein Verhalten bedarf daher besonderer Berücksichtigung bei späteren Vergleichen.

Digitized by Google

Druck von H. S. Hermann, Berlin, Beuthstr. 8.

Digitized by Google

Fig 4

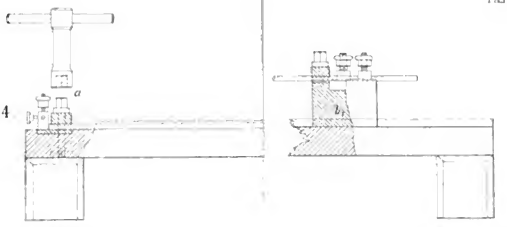
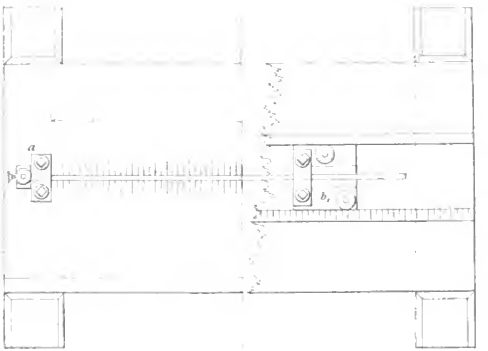


Fig 3



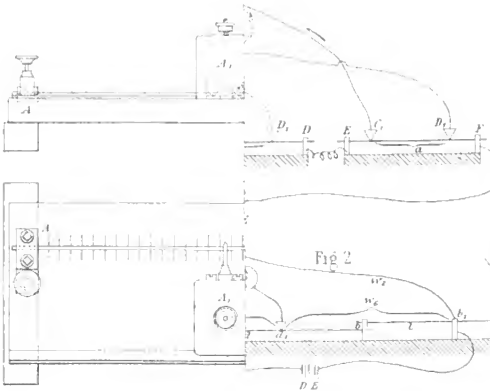


Fig 2

Verlag von Julius Springer in Berlin N

Druck von Arnst u. Brandt v. C. L. Keller in Berlin S

Digitized by Google

Verlag von J

Digitized by Google

Verlag von Julius Springer in Berlin.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Verlag von J u

Digitized by Google

Verlag von Julius Springer in

ogle

Ergänzungsh. I. II 1888

Ergebnisse von Festigkeits-Versuchen mit gelötheten Drahtseilen und Drähten.

Im Auftrage des Herrn Ministers der öffentlichen Arbeiten von

A. Martens,

Vorsteher der mechanisch-technischen Versuchsanstalt.

Die Untersuchungen des im Jahre 1882 auf der Zeche Fürst Hardenberg bei Dortmund (Mittheilungen aus den technischen Versuchsanstalten 1884 S. 2) zu Bruche gegangenen Drahtseiles sind Veranlassung geworden, den besonderen Einfluß der Löthstellen in einem Förderseile auf die Bruchfestigkeit weiter zu verfolgen.

Nachdem die Firma Felten & Guilleaume in Mülheim am Rhein sich bereit erklärt hatte, das für diese Untersuchungen erforderliche Material zur Verfügung zu stellen, wurde von dem Herrn Minister der öffentlichen Arbeiten der Auftrag zur Aufnahme der Untersuchungen ertheilt. Nach einem mit der genannten Firma für die Untersuchungen vereinbarten Programm hat dieselbe die nachfolgend aufgeführten Seilproben zur Verfügung gestellt, bei welchen die Löthstelle eines Drahtes als „Löthung", die Anhäufung mehrerer Löthungen in einem Seilquerschnitt als „Löthstelle" bezeichnet werden soll.

A. Versuchsmaterial.

a) Ein Seil in verschiedenen Stücken aus 6 Litzen mit je 6 Drähten, mit Haupthanfseele und Hanfeinlage in den Litzen, Gußstahldraht von 2,5 mm Durchmesser von etwa 130 $\frac{kg}{qmm}$ Festigkeit.

Diese Seilenden haben die folgenden Versuchsstücke ergeben.

Nr. 1—5. Seile ohne Löthstellen.

Nr. 6—9. Seile mit je einem zweimal gelötheten Draht in jeder Litze; die Löthungen der Drähte sind so angeordnet, daß je 6 Löthungen zusammen fallen, wobei die gegenseitige Entfernung der beiden Löthstellen im Seil etwa 460 mm beträgt.

Nr. 10—13. Seile mit je einem einmal gelötheten Draht in jeder Litze.

Nr. 14—17. Seile mit drei Löthstellen in etwa 500 mm Entfernung von einander und je einem dreimal gelötheten Draht in jeder Litze.

Nr. 18 und 19. Seile mit einer Löthstelle, in welcher alle 36 Drähte gelöthet sind.

Digitized by Google

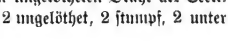
b) zwei Seile und 1 Litze verschiedener Konstruktion, welche die folgenden Versuchsstücke ergaben.

Nr. 20. Seil mit 6 Löthstellen in je 1 m Entfernung; jede Litze enthält einen einmal gelötheten Draht. Seilkonstruktion: 6 Litzen mit je 7 Drähten, von denen einer als Seele dient, Haupthanfseele getheert; Eisendraht von 3,2 mm Durchmesser.

Nr. 21. Seil mit 6 Löthstellen in je 1 m Entfernung; jede Litze enthält einen einmal gelötheten Draht. Seilkonstruktion wie bei Nr 20, aber Stahldraht von 2,5 mm Durchmesser.

Nr 22. Litze, 6 Drähte von 2,6 mm Durchmesser mit je einer Löthung auf 6 Löthstellen in je 1 m Entfernung vertheilt, mit einem siebenten ungelötheten Draht als Seele.

Nr 24. 10 Drähte von 2,9 mm Durchmesser, von denen 2 ungelöthet, 2 stumpf, 2 unter etwa $l = d$, 2 unter etwa $l = 2\,d$ und 2 unter etwa $l = 4\,d$ zusammen gelöthet sind. Patent-Tiegelgußstahl, 126 $\frac{kg}{qmm}$ Festigkeit.



Figur 1.

Nr. 25. 10 Drähte von 2,9 mm Durchmesser, gelöthet wie bei Nr. 24; Flußeisen mit 82 $\frac{kg}{qmm}$ Festigkeit.

Nr. 26. 10 Drähte von 2,95 mm Durchmesser, gelöthet wie bei Nr. 24; Flußeisen mit 64 $\frac{kg}{qmm}$ Festigkeit.

Nr. 27. 10 Drähte von 4,0 mm Durchmesser, gelöthet wie bei Nr. 24; Flußeisen mit 39 $\frac{kg}{qmm}$ Festigkeit.

Nr. 23. 6 Drähte, welche aus dem ungeprüften Seilstück Nr. 5 herausgelöst wurden und von denen einige mit, andere ohne vorheriges Geraderichten sowie ohne Löthung geprüft worden sind, während noch andere mit $l = 4\,d$ gelöthet wurden.

Nr. 24—27 entstammen einer früheren Prüfung (vergl. „Mittheilungen Ergänzungsheft II, 1887. Untersuchungen über Festigkeitseigenschaften und Leitungsfähigkeit an deutschem und schwedischem Drahtmateriale"), wobei sie die vorhin genannten Festigkeiten ergaben.

Da das zur Verfügung gestellte Material ein sehr sorgfältig ausgewähltes und im Hüttenwerk jeder einzelne Draht geprüft war, somit diese Versuche auch für die Lösung anderer Fragen wissenschaftlichen oder praktischen Interesses von einem gewissen Werth werden dürften, so erschien es nothwendig, die Prüfungen etwas umfangreicher und ausführlicher zu gestalten, als es für die Lösung der Frage nach dem Festigkeitsverlust der Seile infolge des Löthens der Drähte erforderlich gewesen wäre. Besonders die Ergebnisse der Untersuchungen vom Professor Bach in Stuttgart (Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure. 1887. Seite 221 u. f.) haben die Anregung zur Aufstellung des nachfolgenden Programmes für die Prüfungen ergeben.

B. Vorschriften für die Versuchsausführung.

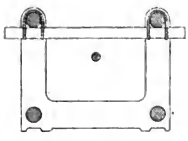
1. Die Seile sind in ihrer ganzen Länge unter Zuhülfenahme der Kortüm'schen Einspannvorrichtungen*) zu prüfen. Sobald der Bruch zu erwarten ist, sollen Vorkehrungen gegen das Fortfliegen von Drahtstücken getroffen werden.

*) Ueber die Konstruktion der in der Versuchsanstalt benutzten Einspannvorrichtungen wird in den „Mittheilungen aus den technischen Versuchsanstalten" ausführlicher berichtet werden.

Digitized by Google

Diese Versuchsvorkehrungen wurden durch Einbinden von Holzklötzen unter die oberen Steifen der Laternen der Werder-Maschine erzielt, so daß das Seil ringsum umschlossen war, aber dennoch gut beobachtet werden konnte.

Da sich bei dem ersten Versuch herausstellte, daß die Beilageteile des Seilschlosses durch ihre Zähne das Seil zu sehr beschädigten und zu vorzeitigem Bruch Veranlassung gaben, so wurden an den Einspannstellen die Zwischenräume zwischen den Litzen durch dünne Drahtseile (Bändsel) ausgelegt, worauf die Einspannvorrichtungen tadellos wirkten.



Figur 2.

2. Belastungsstufen. Für die Seile 1 bis 19 sollen folgende Belastungen angewendet werden.

Anfangslast 1,0 t. Belastungsstufen nahezu 5 $\frac{kg}{qmm}$, bezogen auf den Querschnitt sämmtlicher Drähte, aber abgerundet auf 0,5 t.

Es waren 6 Litzen zu je 6 Drähten von 2,5 mm Durchmesser vorhanden; Gesammtdrahtquerschnitt $36 \times 4{,}9 = 176$ qmm, daher wurden Belastungsstufen von $5 \times 176 = 880$ kg abgerundet = 1 t angewendet. In der Fabrik hatten die Drähte eine mittlere Festigkeit von 632,5 kg ergeben, mithin betrug die zu erwartende Bruchlast etwa 22 t.

3. Belastungsweise.

a) Ungelöthete Seile 1 und 2. Bei stufenweisem Vorgehen mit je 1 t ist jedesmal zwischen den Belastungen 4 und 5, 8 und 9, 11 und 12, 14 und 15 und 17 und 18 dreimal zu wechseln, wenn nicht die in den Verlängerungen etwa auftretenden Unterschiede eine öftere Wiederholung als wünschenswerth erscheinen lassen. Nach diesen Belastungswechseln ist von 5, 9, 12, 15 und 18 t jedesmal auf 1 t zu entlasten und von 1 t aus jedesmal mit Stufen von 1 t auf die vorerreichte größte Last vorzugehen.

b) Ungelöthete Seile 3 bis 5. Die Seile sind mit Stufen von 1 t zu prüfen. Bei 5, 9, 12, 15 und 18 t sind Entlastungen auf 1 t vorzunehmen; nach den Entlastungen ist jedesmal sofort auf die letzte Last zurückzugehen.

c) Gelöthete Seile 6 bis 17. Je zwei der gelötheten Seile einer Gattung sind nach dem ausführlichen Verfahren, wie unter a angegeben, die beiden andern aber nach dem abgekürzten Verfahren zu prüfen, wie unter b angegeben.

d) Gelöthete Seile 18 und 19. Beide Seile sind nach dem abgekürzten Verfahren zu prüfen, wie unter b angegeben.

e) Seilstücke 20 und 21. Beide Seile sind nach dem abgekürzten Verfahren zu prüfen, wie unter b angegeben.

f) Gelöthete Litze Nr. 22. Die Litze wird mit Stufen von 0,25 t nach dem abgekürzten Verfahren geprüft; hierbei finden die Entlastungen bei 1,5, 2,5, und 3,5 t statt.

g) Von dem Seil 5 ist vor dem Versuch ein Ende von 1 m Länge abzuschneiden. Dasselbe soll aufgelöst werden, damit an den Drähten festgestellt werden kann, ob an denselben schon Druck- und Abnutzungsstellen zu bemerken sind, welche infolge der Herstellungsvorgänge entstanden. Alsdann ist eine größere Anzahl der Drähte auf Festigkeit zu prüfen, um den Nachweis zu erbringen, ob die Drahtfestigkeit infolge der Verarbeitung zum Seil gelitten hat. Einzelne Drähte endlich sind zu löthen, um die Festigkeit der Verbindung zu untersuchen.

Digitized by Google

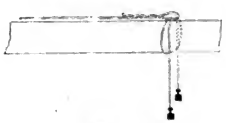
b) Bei dem abgekürzten Verfahren soll jede Last, welche das Seil vorher noch nicht getragen hatte, 2 Minuten im Einspielen erhalten werden, ehe die Ablesungen stattfinden.

4. Ausmessung des Seiles. Das Gewicht der Seilstücke und das Gewicht für den laufenden Meter sind vor den Versuchen festzustellen. Der Seilumfang ist an mehreren Stellen zu messen; an beiden Seilenden sind die Drahtdurchmesser an mindestens 10 Drähten zu ermitteln.

5. Dehnungsmessungen. Die Dehnungsmessungen sind thunlichst so auszuführen, daß sowohl die Dehnung eines Seilstückes, welches nicht gelöthet ist, als auch eines oder mehrerer solcher, welche Löthstellen enthalten, bestimmt wird.

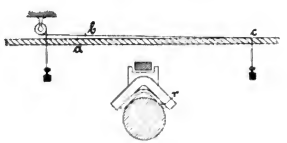
Diese Messungen sind nach drei verschiedenen Methoden ausgeführt worden.

a) In Abständen von mehr als 3 m wurden zwei Endmarken festgelegt, zwischen welchen die Verlängerungen des ganzen Seiles gemessen werden sollten. Zu dem Zwecke wurde ein feiner Kratzendraht von 0,2 mm Durchmesser in der nebenbezeichneten Weise (Fig. 3) bei c (Fig. 4) um das Seil gelegt. Dieser Draht wurde durch Gewichte gespannt und war durch die Oese eines gleichen Drahtes gezogen, welcher parallel mit dem Seil und über eine Rolle geführt durch ein Gewicht straff gehalten war. Bei a (Fig. 4) waren am Seil, bei b am Draht Marken festgelegt, deren gegenseitige Verschiebungen gemessen wurden. Die auf diese Weise festgelegte Meßlänge ist in den Tabellen jedesmal mit L bezeichnet.



Figur 3.

b) Um die Dehnungen mit größerer Empfindlichkeit messen zu können, wurde der Banschinger'sche Rollenapparat (bezeichnet als App. V)*) am Seil befestigt, indem man zwischen den Füßen desselben und dem Seil je einen dicken Draht r einlegte und die Festspannung durch Bügelschrauben so vollzog, daß der Hauptdruck auf den übergelegten Draht ausgeübt und das andere Ende des Fußes nur verhältnißmäßig lose an das Seil angepreßt wurde. Hierdurch wurde zugleich eine gute Abgrenzung einer bestimmten Meßlänge und eine recht sichere Befestigung der Vorrichtung am Seil erreicht. Die so gewonnene Meßlänge ist in den Tabellen mit l bezeichnet.



Figur 4.

c) Um den etwaigen Einfluß der Löthstellen auf die Dehnung des Seiles feststellen zu können, wurden Maßstäbe von 500 mm Länge verwendet, welche aus einem starken Draht hergestellt waren, dessen eines Ende a fein durchgebohrt und mittelst eines feinen Drahtes, wie früher beschrieben, am Seil befestigt war, während an das andere Ende ein nach dem Seilhalbmesser gebogenes Messingblech angelöthet war, welches an der Kante eine Theilung trug, die über eine durch den sehr feinen Silberdraht b gebildete Strichmarke fortglitt. Die Lage der Drähte a und b wurde außer durch die Gewichte auch noch durch etwas Wachs, w am Seil gesichert. Die so erhaltenen Meßlängen sind in den Tabellen mit l_1 bis l_x bezeichnet.

Figur 5.

*) Beschrieben in Heft I der „Mittheilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium zu München".

Digitized by Google

C. Versuchsergebnisse.

Zur Feststellung der Ursprungsfestigkeit der zu den Seilen verwendeten Drähte sind im Carlswerk der Firma Felten & Guilleaume die Festigkeiten der einzelnen Drähte ermittelt worden. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in Tabelle 1 niedergelegt.

Tabelle 1.

Ergebnisse der Festigkeitsversuche mit den einzelnen Drähten

(auf dem Carlswerk ausgeführt.)

Zu den 15 Seilstücken sind 12 Drahtringe verwendet; aus jedem Ringe sind an 4 verschiedenen Stellen Proben entnommen, welche folgende Ergebnisse lieferten:

Ring Nr.	Versuch				Summe	Durchschnitt für den Ring
	a	b	c	d		
	kg	kg	kg	kg	kg	kg
1	625	625	625	635	2510	627,5
2	635	635	625	635	2530	632,5
3	625	625	635	625	2510	627,5
4	635	635	650	635	2555	638,8
5	635	635	625	625	2520	630,0
6	635	635	635	635	2540	635,0
7	635	650	635	650	2570	642,5
8	635	635	635	635	2540	635,0
9	635	635	625	635	2530	632,5
10	625	625	625	625	2500	625,0
11	635	635	635	650	2555	638,8
12	625	625	625	625	2500	625,0
					Summe: 30360	
					Mittel: 632,5 kg	

Der Zusammenstellung der Ergebnisse seien die allgemeinen Bemerkungen vorausgeschickt, welche der Beobachter, Assistent Kirsch, bei den Versuchen gemacht hat.

1. Die Löthungen der Drähte sind stark befeilt und zwar ist in einzelnen Fällen der Querschnitt der Löthungen größer als der Drahtquerschnitt, während er in andern Fällen stark vermindert ist.

2. Zu beiden Seiten der Löthung sind die Spuren der Erhitzung als Anlauffarben zu sehen.

3. Die Brüche der gelötheten Drähte liegen meistens dicht neben der Löthung. Wenn ein Bruch nicht eintritt, so zeigen sich neben den Löthungen in der Regel Einschnürungen, bisweilen zu beiden Seiten.

4. Außer an den Löthungen findet man die Einschnürungen auch an den Druckstellen, welche durch die Berührung zweier benachbarter Litzen an den Drähten erzeugt werden. Diese Druckstellen, von denen jedesmal zwei neben einander liegen, sind häufig

Digitized by Google

die Veranlassung zum Bruch der ungelötheten Drähte gewesen. Zwei Fälle verdienen einer besonderen Erwähnung:

a) ein Draht (Seil 10) zeigte zwei Bruchstellen im Abstand einer Litzenwindung, d. h. im Abstand zweier solcher Druckstellen;

b) sämmtliche Drähte einer Litze (Seil 21) rissen in den auf einander folgenden Druckstellen der Litze.

5. Der Bruch trat meist mit einem einzigen Krach auf, nur manchmal, wenn Drähte an der Löthstelle rissen, hörte man vor dem eigentlichen Bruch das Knacken des einzelnen Drahtes.

6. Die reißenden Litzen bogen sich durch Zurückschnellen derselben an einer Stelle aus. Litzen mit mehr als einer Löthstelle, welche an einer derselben zum Bruch kamen, bogen sich immer an einer der andern Löthstellen aus; der gelöthete Draht bog sich dann nicht wie die andern Drähte gleichmäßig, sondern knickte dicht an der Löthung.

7. Die Untersuchung der einzelnen Drähte am Seil 5 ergab, daß an dem ungeprüften Seil keine Druckstellen gefunden werden konnten. Sie sind also eine Folge der gegenseitigen Pressungen der einzelnen Drähte während des Versuches.

Diese Druckstellen haben durchaus das gleiche Aussehen und die Anordnung, wie sie in dem Bericht über die Untersuchung des Hardenberg-Seiles gezeichnet und beschrieben sind (vergl. „Mittheilungen" 1884 S. 26 u. f.), nur sind sie nicht so tief wie dort. Die dort erwähnten schraubenförmig um den Draht verlaufenden Längsriefeln können nicht nachgewiesen werden; ein weiterer Beweis dafür, daß sie durch die Bewegungen der Drähte gegen einander während der Betriebsbeanspruchung erst entstehen.

Die besonderen Erscheinungen sind bei den einzelnen Seilen in Tabellen 2 und 4 besprochen. Tabellen 2 und 4 enthalten die Versuchsergebnisse nach dem ausführlichen und dem abgekürzten Verfahren getrennt. In Tabellen 3 und 5 sind die Endergebnisse übersichtlich wiederholt, während Tabelle 6 die Schlußzusammenstellungen enthält. In Tabelle 7 sind die Dehnungen für die Belastungswiederholungen getrennt aufgeführt und die Ergebnisse der gelötheten Drähte sind in Tabellen 8 und 9 niedergelegt.

D. Besprechung der Versuchsergebnisse.

1. Prüfungen nach dem ausführlichen Verfahren.

Die Ergebnisse, welche mit den nach dem ausführlichen Verfahren geprüften Seilen erzielt wurden, sind in Tabelle 2 (S. 17 u. f.) niedergelegt. Diese Tabelle enthält in der zweiten senkrechten Spalte die Verlängerungen, welche das Seil in dem durch Apparat V gemessenen Theil unter den einzelnen Belastungen erfahren hat, ausgedrückt in Prozenten der ursprünglichen Länge l. Die Ergebnisse an den übrigen Meßlängen $L\,l,\ l_2$ u. s. w. sind jedesmal in Verhältnißzahlen, bezogen auf die Angaben von Spalte 2 hinzugefügt, um einen unmittelbaren Vergleich über das Verhalten der übrigen Seiltheile zu gestatten. Im Allgemeinen ist die Messung mit Apparat V (Meßlänge l) die empfindlichere und darum zur Beurtheilung des Verhaltens des Seiles am meisten geeignete; es muß aber doch bemerkt werden, daß die erreichte Genauigkeit der Längenmessungen trotz der angewendeten Sorgfalt keine sehr große gewesen ist. Bei Apparat V macht die genaue Ermittelung der thatsächlichen Meßlänge mehr Schwierigkeiten als bei den übrigen Meßvorrichtungen. Bei letzteren ist die Genauigkeit der Ablesungen eine geringere. Bei Meßlänge L ist die Messung wegen der nicht zu vermeidenden Dehnungen des messenden Drahtes mit Unsicherheiten behaftet. Eine Verschiebung der Befestigungen

Digitized by Google

mittelst des umgelegten feinen Drahtes ist nicht bemerkt worden. Die Tabellen sind so angeordnet worden, daß die Zahlenwerthe durch wagerechte Linien in Gruppen getheilt sind. Einzelne Gruppen zeigen die auf einander folgenden „Belastungswechsel", während die zwischen liegenden die „Belastungsfolgen" umfassen. Innerhalb dieser Gruppen sind in den letzten Spalten die Dehnungsunterschiede für je 1 t Belastung gezogen worden. Aus den den Belastungswechseln entsprechenden Zahlenwerthen der Dehnungsunterschiede konnten Mittelwerthe gezogen werden, da die Werthe nur einer geringfügigen gesetzmäßigen Beeinflussung unterliegen. Das Gleiche gilt von dem ersten Theil der Belastungsfolgen, welcher jedesmal einer Versuchswiederholung innerhalb derjenigen Belastungsstufen entspricht, welche bei der voraufgehenden Prüfung bereits erreicht waren. Auch innerhalb dieses Theiles des Versuches läßt sich aus den einzelnen Versuchsreihen eine merkliche gesetzmäßige Beeinflussung nicht feststellen und es war deswegen die Mittelbildung zulässig. Dieser Theil der betreffenden Gruppen ist durch einen kurzen wagerechten Strich vom übrigen geschieden. Die letzten Zahlen der Dehnungsunterschiede in den Gruppen der Belastungsfolgen lassen ein deutliches Wachsthum mit wachsender Belastung erkennen. Das Gesetz dieser Vorgänge scheint ein für Drahtseile der vorliegenden Konstruktion allgemein gültiges zu sein; es wiederholt sich bei allen Versuchen. Um es klarer zum Ausdruck zu bringen, sind in Tabelle 3 die maßgebenden Zahlen in kürzerer und übersichtlicher Form aus allen Versuchen zusammen geschrieben und die erlangten Mittelwerthe durch die Hinzufügung von (fett gedruckten) Verhältnißzahlen in Vergleich gestellt.

2. Prüfung nach dem abgekürzten Verfahren.

Die bei dem abgekürzten Verfahren gewonnenen Ergebnisse sind im Wesentlichen eine Bestätigung der vorbesprochenen; sie sind in Tabelle 4 niedergelegt. Die Einrichtung der Tabelle ist, soweit thunlich, genau dieselbe, wie diejenige von Tabelle 2 und wohl ohne Weiteres verständlich. Zu bemerken ist nur, daß die Versuche 20 bis 22 von der vergleichenden Besprechung ausgeschlossen werden müssen, da die Seilkonstruktion eine andere ist und unmittelbare Vergleiche deswegen nicht zulässig sind.

3. Allgemeine Besprechung der Versuchsergebnisse von Seil 1 bis 19.

Um über das Verhalten des Drahtseiles einen Ueberblick zu geben und zugleich die Begründung für die in den Tabellen gebrauchten Kürzungen zu liefern, wurde in Fig. 1 Taf. A das Schaubild für das nach dem ausführlichen Verfahren geprüfte Seil 2 wiedergegeben. Die stark ausgezogene mehrfach unterbrochene Linie a stellt die den verschiedenen Belastungen entsprechenden Gesammtdehnungen, Liniengruppe b die Dehnungsunterschiede für je 1 t steigender Belastung, Linie c das Wachsthum der bleibenden und d dasjenige der elastischen Dehnung mit steigender Belastung dar. Man erkennt an a leicht die Belastungswechsel und ihre Wirkungen an den kurzen Zickzacklinien, sowie der Entlastungen und Belastungswiederholungen an den fein punktirten und fein ausgezogenen Linien, welche am Fuße mit e_5 e_9 u. s. w. bezeichnet sind.

Aus einer eingehenderen Betrachtung der Schaulinie a ergiebt sich als allgemeine Schlußfolgerung, daß durch jeden Belastungswechsel eine kleine bleibende

Digitized by Google

Verlängerung erzeugt worden ist, die um so größer wurde, je höher die Gesammtbelastung war: die Zunahme derselben mit steigender Belastung scheint eine stetige zu sein. Die einzelnen Abschnitte der stark ausgezogenen Schaulinie a würden sich durch einen stetigen Linienzug ersetzen lassen, was beweist, daß man auch bei stetiger Ausführung des Versuches, ohne die Unterbrechungen durch Belastungswechsel und Entlastungen nahezu die gleichen Dehnungen erhalten haben würde wie jetzt; man wird also behaupten dürfen, daß die stark ausgezogene Linie a gewissermaßen das Verhalten eines neuen Seiles bei seiner erstmaligen Belastung darstellt. Die stetige Krümmung der Linie a beweist, daß das Seil bei der erstmaligen Inanspruchnahme sich nicht proportional der Belastung ausdehnt, daß also eine Proportionalitätsgrenze nicht vorhanden sein kann.

Ganz anders wird aber das Verhalten des Seiles bei einer Wiederbelastung innerhalb der Grenzen der bereits angewendeten erstmaligen Belastung. Man ersieht dies ohne Weiteres aus den am Fuße mit ex bezeichneten Entlastungslinien. Bei einer Wiederholung der bereits angewendeten Belastung zeigt das Seil jedesmal eine fast vollkommene Proportionalität der Dehnungen mit der Belastung. Die fein ausgezogenen Schaulinien für die jeweiligen Wiederbelastungen haben im Allgemeinen einen fast parallelen Verlauf und es wird auf den ersten Blick auffallen, daß sie auch nahezu parallel zu der Linie d sind. Auch die letztere ist nahezu eine Gerade und läßt erkennen, daß die elastischen Dehnungen bei der erstmaligen Belastung des Seiles ebenfalls fast vollkommen proportional den Belastungen sind. Die Abweichung der Schaulinie a von der Geraden ist also vorwiegend durch die bleibende Verlängerung des Seiles veranlaßt, deren Wachsthum mit steigender Belastung durch die Linie c gegeben ist.

Es wird einleuchten, daß an der Größe der bleibenden Dehnungen bei der erstmaligen Belastung zu Anfang weniger das Seilmaterial an sich, als vielmehr die besondere Konstruktion des Seiles Antheil nimmt. Die Drähte werden bei der erstmaligen Beanspruchung Lageänderungen und gegenseitige Verschiebungen erfahren, welche bei der folgenden Entlastung um so weniger ganz rückgängig gemacht werden, als die Entlastung keine ganz vollständige gewesen ist, vielmehr nur bis auf 1 t erfolgte. Bei höheren Belastungen wird schließlich das Drahtmaterial selbst eine Streckung erfahren und das Seil wird sich immer mehr wie ein homogener Körper verhalten.

Die weniger deutlich ausgeprägten Vorgänge bei der Beanspruchung des Seiles kann man aus dem Schaubilde Fig. 1 allein nicht klar genug erkennen, weil die angewendeten Meßmethoden hierfür noch zu roh und mit großen Fehlern behaftet gewesen sind. Einen etwas besseren Einblick vermag man schon aus einer zeichnerischen Darstellung der Dehnungsunterschiede, Linienzüge b und b, Fig. 1, zu gewinnen. Aber die bezüglichen Gesetze würden sich mit größerer Bestimmtheit ergeben, wenn man die Zahl der Beobachtungen häufen und die erhaltenen Mittelwerthe einer weiteren Untersuchung unterziehen könnte. Dies ist im vorliegenden Falle erreichbar; denn wie später dargelegt werden wird und wie aus den Tabellen 6 und 7 ersehen werden kann, sind die mit den einzelnen Seilstücken erhaltenen Ergebnisse einander ähnlich und durch die Löthungen so wenig beeinflußt, daß man aus den erhaltenen Zahlen ohne Weiteres Mittelwerthe bilden und im vorbezeichneten Sinne verwerthen darf. Dies ist für die acht nach dem

Digitized by Google

ausführlichen Verfahren geprüften Seile (Tabelle 2) und für die entsprechenden acht nach dem abgekürzten Verfahren untersuchten Seile (Tabelle 4) geschehen; man hat hiernach die Schaulinien für die mittleren Dehnungsunterschiede (Fig. 2) entworfen.

Die stark ausgezogenen Linien der Gruppe A Fig. 2 und die schwach gezogenen Linien der Gruppe B gehören zusammen und stellen die mittleren Dehnungsunterschiede für die nach dem ausführlichen Verfahren gewonnenen Ergebnisse dar, während die gleichen nach dem abgekürzten Verfahren erhaltenen Werthe durch stark beziehentlich schwach punktirte Linien bezeichnet sind. Gruppe B entspricht den wiederholten Belastungen. Man sieht, daß bei der wiederholten Belastung die Dehnungsunterschiede für die einzelnen Wiederholungen sich kaum merklich von einander unterscheiden; die Linien fallen fast zusammen. Um die einzelnen Linien besser verfolgen zu können, sind sie an ihren Uebergängen nach der Gruppe A mit Zahlen gezeichnet, welche zugleich angeben, der wievielten Wiederbelastung die betreffende Linie entspricht.

Die fast zusammenfallenden Linien der Gruppe B deuten an, daß die Zahl der Wiederholungen innerhalb der Grenzen der erstmaligen Belastung kaum einen Einfluß auf das fernere Verhalten eines Seiles von der vorliegenden Konstruktion ausüben dürfte; dieser Einfluß wird sich erst unter den höheren Belastungen, am besten durch Dauerversuche, nachweisen lassen.

Ueberschreitet die Belastung die vorher bereits zur Anwendung gebrachte größte Last, so tritt sofort eine erhebliche bleibende Dehnung ein und die Linienzüge der Gruppe B gehen nunmehr in die zugehörigen der Gruppe A über, was durch die feinen mit Zahlen bezeichneten Verbindungslinien angedeutet ist.

Die einzelnen zusammengehörigen Linienzüge in Gruppe A zeigen zwar keinen unmittelbaren Anschluß an einander, aber ihre Zusammengehörigkeit ist durch kurze punktirte Verbindungslinien gekennzeichnet. Hierdurch entsteht für die Darstellung der Dehnungsunterschiede bei jeweilig erstmaliger Beanspruchung unter Anwendung des ausführlichen Verfahrens eine ausgesprochene Zickzacklinie (stark ausgezogen), während unter gleichen Umständen unter Anwendung des abgekürzten Verfahrens eine mehr stetige Linie (stark punktirt) erhalten wird. Aus diesem Grunde wird man, ohne einen erheblichen Fehler befürchten zu müssen, schließen dürfen, daß bei einer stetig vorschreitenden Versuchsausführung die Dehnungsunterschiede bei erstmaliger Belastung durch die eingezeichneten stetigen Züge der Ausgleichslinien darstellbar sein würden. Die beiden Ausgleichslinien für die Mittelwerthe der nach beiden Verfahren gewonnenen Versuchsreihen weichen in der That nur unerheblich von einander ab. Man kann aus ihrem Verlauf schließen, daß die Dehnungsunterschiede für die erstmalige Belastung im Allgemeinen anfangs mit steigender Belastung abnehmen; hier ist eben die Lagenänderung der Drähte vorwiegend von Einfluß. Bei etwa 6 t Belastung erreichen die Dehnungsunterschiede ihren kleinsten Werth, um dann, erst langsam, bis zum eintretenden Bruche zu wachsen. Da die mittleren Dehnungsunterschiede, wie gesagt, bei 6 t ein Minimum haben, so muß die aus ihnen abgeleitete mittlere Schaulinie in diesem Punkte eine Wendetangente besitzen.

Die Thatsache, daß das noch nicht beanspruchte Seil sich wesentlich anders verhält als das bereits gebrauchte, ist ja bekanntermaßen außer durch seine besondere Kon-

Digitized by Google

struktion auch durch das allgemeine Verhalten von Stahl und Eisen zu erklären, wonach ein Probekörper durch voraufgängige Beanspruchungen seine Festigkeitseigenschaften in ganz ähnlichem Sinne ändert*), wie es vom Seil nachgewiesen wurde.

Um die vorbesprochenen Gesetze nunmehr für die einzelnen Seile auch zahlenmäßig zum Ausdruck zu bringen, sind in Tabelle 7 die erhaltenen Versuchsergebnisse nochmals in der Weise zusammengestellt, daß das Verhalten der Seile während der einzelnen auf einander folgenden Belastungswiederholungen und getrennt von den voraufgehenden Veränderungen deutlich hervortritt.

Zu Tabelle 7 ist zu bemerken, daß die Werthe durch Summirung der Dehnungsunterschiede aus Tabelle 2 erhalten sind. Die Werthe in der jeweiligen Spalte 1 schließen, streng genommen, nicht unmittelbar aneinander an, und deswegen sind die einzelnen Gruppen (zwischen denen die Belastungswechsel und Belastungsfolgen fortgelassen sind) durch| Striche von einander getrennt. Man sieht auf den ersten Blick, daß bei allen Versuchsreihen die den einzelnen Belastungen entsprechenden Dehnungen bei der wiederholten Inanspruchnahme (Spalte 2 bis 6) sich nicht wesentlich von einander unterscheiden. Daß in der That auch bei den einzelnen Seilen die Dehnungen bei wiederholter Inanspruchnahme nahezu proportional der Belastung ausfallen, erkennt man aus den gleichbleibenden Dehnungsunterschieden für die Belastungsfolgen aus Tabelle 2, 3 und 6. Abtheilung C der Tabelle 7 enthält die durch die Belastungswechsel erzeugten bleibenden Verlängerungen. Man erkennt, daß sie wie die bleibende Gesammtverlängerung (Abtheilung B — Tabelle 7) überall mit steigender Belastung wächst, mit alleiniger Ausnahme von Seil 11, wo durch den Wechsel zwischen 17 und 18 t nur ein Zuwachs von 0,004 pCt. erzeugt wurde. Die durch die Wechsel erzeugten bleibenden Dehnungen sind gegenüber den gesammten bleibenden Dehnungen sehr klein, sie schwanken bei den verschiedenen Seilen, sind am größten bei Seil 1 und am kleinsten bei Seil 11. Es ist wohl einigermaßen zweifelhaft, ob es zulässig ist, den ganzen hier zum Ausdruck kommenden Betrag als bleibende Dehnung aufzufassen, da das Seil ohne Zweifel den sogenannten „Nachwirkungen" in ähnlicher Weise unterworfen sein wird, wie andere Körper**). Leider konnten die vorliegenden Versuche wegen fehlenden Materials auf diese Fragen nicht erstreckt werden. Aus einer zufälligen Beobachtung am Seil 6 (Tabelle 2) geht aber hervor, daß in der That die nach der Entlastung eintretenden „Nachwirkungsverkürzungen" meßbare Beträge erlangen können. Der für Seil 6 angegebene Betrag von 0,014 pCt. für 17 Stunden Ruhe kann allerdings nicht als der reine Betrag der Nachwirkungsverkürzung angesehen werden, weil der angewendete Holzmaßstab (Apparat V) während der nächtlichen Abkühlung eine andere Verkürzung erfahren haben wird, als das Seil. Da die Prüfung Ende April stattgefunden hat, wo eine starke nächtliche Abkühlung nicht wahrscheinlich ist, so wird die maßgebende Wärmeschwankung kaum 10° C erreicht haben; dem würde eine Verkürzung entsprechen von: (0,000012—0,000007) 100 . 10 = 0,005 pCt. Für die Nachwirkungsverkürzung würden also auch unter diesen Umständen noch 0,009 pCt. verbleiben. Der angewendete Meßapparat gestattete Ablesungen bis auf 0,007 pCt., wovon Zehntel noch geschätzt werden können.

*) Bauschinger, Civilingenieur 1881 S. 289 und Dingler, P.-Journ. Bd. 224 S. 5.

**) „Mittheilungen" 1887. Ergänzungsheft I. Ueber die Festigkeitseigenschaften von Magnesium.

Digitized by Google

Nachdem über das allgemeine Verhalten der untersuchten Seile die beachtenswerthesten Punkte erläutert sein dürften, sollen nunmehr die Veränderungen besprochen werden, welche das Seil durch die Löthung der Drähte erfahren hat.

4. Ueber den Einfluß der Löthungen auf die Festigkeitseigenschaften der Seile 1 bis 19.

In dem Vorausgehenden ist bereits die Zulässigkeit der Mittelbildung aus mehreren nach den beiden Verfahrungsarten ausgeführten Versuchsreihen nachgewiesen worden. Um aber dem Leser Gelegenheit zu geben, auch über die Größe der immerhin vorhandenen Unterschiede der Ergebnisse beider Prüfungsformen sich selbst ein Urtheil zu bilden, sind die Zahlenwerthe in den mehrfach erwähnten Tabellen 3 und 5 so zusammengestellt, daß aus den gleichwerthigen Reihen die Mittel gezogen werden konnten. Diese Mittelwerthe sind dann durch Verhältnißzahlen (kleiner gedruckt) in Beziehung zu einander gesetzt, so daß die Mittelwerthe für das Seil mit ungelötheten Drähten = 100 genommen wurden. Man kann aus diesen Zahlen ohne Umschweif den Einfluß der Löthungen auf Bruchfestigkeit und Dehnbarkeit des Seiles in allen einzelnen Fällen erkennen.

Um aber die Zahlen für den schließlichen Vergleich noch übersichtlicher gestalten zu können, sind in Tabelle 6 nochmals die für die einzelnen Löthungsweisen sowohl nach dem ausführlichen, als auch nach dem abgekürzten Verfahren gewonnenen Mittelwerthe zusammengezogen und in gleicher Weise durch Verhältnißzahlen einander gegenüber gestellt. An der Hand von Tabelle 6 erkennt man, daß die Bruchfestigkeit bei den Seilen 1 bis 17 durch die Löthungen nicht in merklicher Weise beeinflußt ist. Auch das Vorhandensein mehrerer Löthstellen in einer gegenseitigen Entfernung von etwa 500 mm (etwa dem 22fachen Seildurchmesser) bedingt keine merkbare Verminderung der Bruchfestigkeit, selbst wenn in jeder Löthstelle $^1/_6$ aller Drähte gelöthet ist. Der etwa eintretende Festigkeitsverlust ist jedenfalls so gering, daß er mit Sicherheit auch bei einer Bestimmung mit kleineren Belastungsstufen wohl nicht nachgewiesen werden könnte. Die gelötheten Drähte müssen somit in den Löthstellen immerhin noch eine beträchtliche Festigkeit entwickelt haben. Die in allen Drähten an einer Stelle gelötheten Seile 18 und 19 zeigen eine erhebliche Abnahme der Festigkeit um 33 pCt. von derjenigen des ungelötheten Seiles. Die Festigkeit der Löthungen kann demnach durchschnittlich auf etwas über 60 pCt. von derjenigen des Drahtes geschätzt werden, wenn man annimmt, daß ein geringer Betrag der betreffenden Bruchbelastung auf die Ueberwindung der Reibung zu rechnen ist, da die Löthungen der Drähte nicht genau in den gleichen Seilquerschnitt fallen und die beiden äußersten Löthungen um etwa den $1^1/_2$ bis 2fachen Seildurchmesser auseinander gelegen haben werden. Die Bruchdehnung hat wegen der mit der Beobachtung verbundenen Gefahr für Beobachter und Instrumente nur in einem Falle festgestellt werden können; sie betrug bei dem Seil ohne Löthstellen 2,85 pCt. der ursprünglichen Länge.

Um über das Gesammtverhalten der gelötheten Seile bezüglich der Dehnung während des ganzen Versuches einen schnellen Ueberblick zu gewähren, sind nach den Mittelwerthen aus Tabelle 6 die Schaulinien in Figur 3 verzeichnet. Man erkennt

Digitized by Google

aus den Linienzügen der Gruppe a, daß die Seile mit Löthstellen sämmtlich eine geringere Dehnbarkeit haben als die Seile ohne Löthstellen, daß das Seil mit einer Löthstelle am wenigsten Dehnung zeigt und dann die Seile mit 2 und 3 Stellen folgen.

5. Ueber den Einfluß der Art der Löthung auf die Festigkeit der Drähte.

Da für diese Versuche leider keine Probestücke aus dem gleichen Material, wie es für die Seile 1 bis 19 verwendet wurde, im ursprünglichen Zustande vorhanden waren, die bezüglichen Versuche mit einzelnen gelötheten Drähten aber eine höchst wünschenswerthe Erweiterung der bisherigen Erfahrungen versprachen, so wurden mit verschiedenen Drähten, welche theils aus dem ungeprüften Seil Nr. 3, theils aus den geprüften Seilen Nr. 6 bis 21 und theils aus den von früheren Versuchen verbliebenen Proberesten entnommen waren, die unter 23 bis 27 in Tabelle 8 bis 10 zusammengestellten Versuchsreihen ausgeführt.

Die Löthungen wurden mit Schlagloth, welches von der Firma Felten & Guilleaume (in Mülheim a. Rh.) bezogen war, in einem Gasgebläse auf untergelegten Holzkohlen von einem Schlosser der Versuchsanstalt ausgeführt. Es ist zu bemerken, daß der Arbeiter, wenn auch sonst geschickt, doch in der Drahtlötherei nicht die Gewandtheit haben konnte, wie sie ohne Zweifel den ausschließlich hiermit beschäftigten Arbeitern einer Drahtseilerei zukommt. Die Güte der Löthungen dürfte daher hinter den in den Fabriken erzielten etwas zurückstehen. Ueber die Anordnung der Löthungen ist bereits früher das Wissenswerthe mitgetheilt.

Betrachtet man zunächst die Zahlen der Tabelle 8, so ersieht man aus den kleiner gedruckten Verhältnißzahlen, daß die Form der Löthung, wie zu erwarten war, einen wesentlichen Einfluß auf die Zugfestigkeit ausübt. Je länger die Löthung im Verhältniß zum Durchmesser ist, desto größer ist im Allgemeinen die Festigkeit der Verbindung. Sie kann schon bei dem Verhältniß $\frac{l}{d} = 2$ die Drahtfestigkeit erreichen (vergl. Draht 27). Man wird aber aus den angeführten Zahlen zugleich ableiten können, daß die Art des Drahtmateriales einen erheblichen Einfluß auf die verhältnißmäßige Festigkeit der Verbindung hat, wenn man unter „verhältnißmäßiger Festigkeit der Verbindung“ das Verhältniß der Festigkeit der Verbindung in einer der vier Verbindungsformen zu der Festigkeit des Drahtes in seinem ursprünglichen Zustande versteht. Man muß aus den Zahlen folgern, daß bei Drähten von hoher Festigkeit eine wesentlich längere Löthung anzuwenden sein wird, wenn man für die Verbindung durch Löthung die gleiche verhältnißmäßige Festigkeit erzielen will. Es scheint in der That, als wenn das Material als solches auch einen gewissen Einfluß auf die Festigkeit habe, mit welcher das Loth an den gelötheten Flächen haftet, jedoch treten die vorhandenen Vorgänge in ein besseres Licht, wenn man die spezifischen Festigkeiten der Drahtmaterialien und der Löthungen unmittelbar neben einander schreibt und vergleicht, wie dies in Tabelle 9 geschehen ist. Aus Spalte 2 derselben geht hervor, daß die spezifische Festigkeit bei stumpfer Löthung nahezu bei allen vier Drahtsorten, 24 bis 27, die gleiche ist. Wenn man annehmen darf, daß das angewendete Loth in allen Fällen gleiche Beschaffenheit hatte, so würde man mit Rücksicht darauf, daß Draht 27 bei der stumpfen Löthung eine spezifische

Digitized by Google

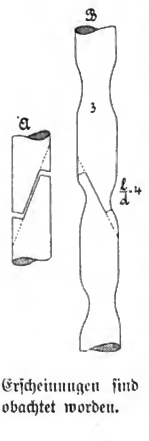
Verbindungsfestigkeit von 30,6 $\frac{kg}{qmm}$ gegenüber im Mittel von 22,6 $\frac{kg}{qmm}$ für die Drähte 24 bis 26 — d. h. 36 pCt. mehr — ergeben hat, wohl schließen müssen, daß man es in den erhaltenen Zahlen noch nicht mit der Bruchfestigkeit des Lothmateriales an sich zu thun hatte, sondern daß die erhaltenen Zahlen vielmehr die spezifische Festigkeit darstellen, mit welcher das Loth an den gelötheten Flächen haftet. Die Löthung ist also im Falle des Drahtes 27 eine innigere gewesen, als bei den Drähten 24 bis 26. Der Bruch ist mit Ausnahme derjenigen Fälle, in welchen die Zahlen eingeklammert sind, in der Löthung selbst erfolgt, indem in der Regel die Lothflächen sich trennten. Die Steigerung der spezifischen Festigkeit der Löthung (bezogen auf den Kreisquerschnitt des Drahtes) mit der Länge der Löthfuge ist unter der Bezeichnung „Wachsthum der Festigkeit der Verbindung" durch die kleiner gedruckten Verhältnißzahlen angegeben. Es ist hier darauf aufmerksam zu machen, daß diese Steigerung eine wesentlich geringere ist, als man nach den Flächenverhältnissen der elliptischen Löthflächen hätte erwarten sollen, welche durch die Zahlen 1; 1,41; 2,24 und 4,12 gegeben sind, wenn man die Kreisfläche als 1 setzt.

Für die Beurtheilung der vorliegenden Verhältnisse ist übrigens noch zu beachten, daß die Veränderung der Festigkeitseigenschaften des Drahtmateriales infolge des beim Löthen nicht zu vermeidenden Ausglühens eine sehr hervorragende Rolle spielt. Die Festigkeit des gelötheten Drahtes kann weder durch eine größere Lothlänge noch durch Anwendung eines Lothes von größerer Verbindungsfestigkeit über jene Festigkeit hinaus gehoben werden, welche dem geglühten Draht an sich eigenthümlich ist. Besonders klar erhellt dies aus dem Verhalten des Drahtes 27, bei welchem schon bei dem Längenverhältniß der Löthung $\frac{l}{d} = 1$ die ursprüngliche Drahtfestigkeit nahezu wieder erreicht worden ist. Draht 27, ein Telegraphendraht, ist an sich schon so weich, daß das Glühen wenig Einfluß auf seine Festigkeit gehabt haben würde; außerdem dürfte aber ein Ausglühen nach seiner Herstellung ziemlich sicher stattgefunden haben. Bei Löthung eines weichen Drahtes würde man also entweder mit einem weicheren, womöglich zäheren Loth löthen können, oder man könnte sich mit einem geringeren Längenverhältniß der Löthung begnügen, als man es bei harten Drähten anwenden darf, wenn man in beiden Fällen die Festigkeit der Verbindung gleich derjenigen machen will, welche dem geglühten Drahte zukommt.

Für die Praxis dürfte es von Wichtigkeit sein, auch die folgenden Gesichtspunkte noch zu berücksichtigen. Es kommt bei der Löthung für die Zwecke der Seilfabrikation augenscheinlich nicht ausschließlich darauf an, die absolute Festigkeit der Verbindung so groß wie möglich zu machen, sondern man will doch ohne Zweifel auch solche Lothmaterialien oder Längenverhältnisse der Löthungen anwenden, welche zugleich eine möglichst große Biegsamkeit und Verwindungsfähigkeit des Drahtes erzielen lassen, ohne dabei erhebliche Erschwerung der Fabrikation mit sich zu bringen. Daß die hier untersuchten härteren Drähte namentlich bei stumpfer Löthung und bei dem Verhältniß $\frac{l}{d} = 1$ dem Abbrechen nur geringen Widerstand entgegensetzten, kann man leicht aus Tabelle 9 ersehen. Aus Tabelle 9 ergiebt sich, daß die Festigkeit der Verbindung bei den aus den geprüften Seilen ausgelösten gelötheten Drähten (Nr. 23) durchschnittlich

Digitized by Google

59 pCt. beträgt. Ferner scheint aus Tabelle 8 hervorzugehen, daß die Drähte durch das Seilschlagen etwas an Festigkeit einbüßen, und zwar scheint es, daß die bereits geprüften Seile eine weitere Verminderung der Drahtfestigkeit erfahren haben. Diese Verminderung ist namentlich auf das Entstehen der vielfach besprochenen Druckstellen zurückzuführen, denn man bemerkte an den meisten der betreffenden Drähte an jenen Druckstellen Einschnürungen. Auch durch das Geraderichten der Drähte vor dem Versuch scheint eine weitere Verminderung der Drahtfestigkeit nicht ausgeschlossen zu sein, wenigstens zeigen die Hauptmittel aus allen Versuchen eine derartige Abnahme von 607 auf 600 kg. Indessen ist zu bemerken, daß die Art der Versuchsausführung, namentlich die unmittelbar vor dem Eintritt des Bruches angewendete Streckgeschwindigkeit und die Art der Einspannung einen nicht zu vernachlässigenden Einfluß auf die Festigkeitsergebnisse hat. Um dem Leser hierüber Auskunft zu geben, sind in Tabelle 8 die von verschiedenen Beobachtern und mit veränderten Einspannkeilen ausgeführten Versuche zusammengestellt. Die Ergebnisse dürften ohne weitere Erklärung verständlich sein. Für weitere Untersuchungen ist, wie man sieht, ein großer Spielraum gegeben.



Von Interesse dürfte noch eine Besprechung der Bruchericheinungen an einzelnen Drähten sein, weil sie die Vorkommnisse an den Brüchen von Drahtseilen erläutern. Fig. A der nebenstehenden Skizze zeigt eine mehrfach vorgekommene Bruchform, bei welcher der Bruch zum Theil in der Löthfuge und zum Theil durch die auslaufenden Enden des Drahtmateriales erfolgt ist. Fig B stellt den Bruch eines Stückes 26 mit dem Löthlängenverhältniß $\frac{l}{d} = 4$ dar, welcher in der Löthstelle auf die vorbeschriebene Weise zerrissen ist, wobei sich sowohl in als neben der Bruchstelle (zusammen drei) Einschnürungen bildeten, als Zeichen dessen, daß die Festigkeit der Verbindung hier gerade die Festigkeit des geglühten Drahtes erreichte. Aehnliche Erscheinungen sind bekanntlich bei den früher beschriebenen Versuchen mehrfach beobachtet worden.

E. Schlußbemerkungen.

Aus den mitgetheilten Versuchsergebnissen geht hervor, daß durch die Löthung selbst dann, wenn alle Drähte in demselben Seilquerschnitt gelöthet sind, die Festigkeit eines Seiles aus harten Drähten gegen ruhige Zugbelastung noch 60 bis 70 pCt. der eigentlichen Seilfestigkeit betragen kann. Die größte erreichbare Festigkeit eines gelötheten Seiles kann nur bis zu derjenigen Festigkeit gesteigert werden, welche den beim Löthen ausgeglühten Drähten entspricht. Bei Seilen mit an sich schon weichen Drähten läßt sich voraussichtlich selbst bei der Löthung aller Drähte die ursprüngliche Seilfestigkeit wieder erreichen.

Digitized by Google

Wenn nur ein Theil der Drähte (bis zu $^1/_6$ der ganzen Zahl) in demselben Seilquerschnitt gelöthet ist, so ist bei ruhiger Zugbeanspruchung der Festigkeitsverlust ein so geringer, daß er nur durch zahlreiche und sehr sorgfältig ausgeführte Versuche würde nachgewiesen werden können. Auch wenn dieselben Drähte in kurzer Folge (bis zu etwa 500 mm Entfernung der Löthungen) mehrfach gelöthet sind und die Löthungen (jeweils bis zu $^1/_6$ sämmtlicher Drähte) in die gleichen Seilquerschnitte fallen, wird die Bruchfestigkeit des Seiles gegen ruhigen Zug nicht merkbar vermindert. Die Schwächung eines Seiles durch zahlreiche Löthungen in demselben Seilquerschnitt (bis zu $^1/_6$ sämmtlicher Drähte) ist jedenfalls nicht wesentlich größer als die Schwächung, welche das Seil infolge der gegenseitigen Eindrückungen der Drähte benachbarter Litzen erfährt. Auch die Brüche gelötheter Seile finden häufig nicht in den Löthungen, sondern in den vorerwähnten Druckstellen statt. Vielfach findet man die dem Bruch vorhergehenden Einschnürungen neben den Bruchstellen auch in den nicht gebrochenen Drähten, welche alsdann fast immer neben den Löthungen an den Grenzen der Erhitzungsstellen des Drahtes oder an den durch die Nachbardrähte erzeugten Druckstellen liegen. Auch hieraus geht hervor, daß man im Stande ist, die Löthung mindestens so fest zu machen, daß die aus andern Gründen verminderte Seilfestigkeit erreicht wird.

Die Druckstellen der Drähte entstehen erst während der Prüfung; sie konnten an den neuen Seilen noch nicht entdeckt werden. Sie sind, wie es scheint, eine Gefahr, die größer ist, als die durch die Löthungen bedingte, weil in der Praxis die Löthungen im Seil stets vereinzelt vorkommen werden und man leicht die immerhin empfehlenswerthe Vorsicht gebrauchen kann, die Löthstellen im Seil so zu vertheilen, daß zwischen den einzelnen in Frage kommenden Seilquerschnitten ein geringster Abstand (etwa der 15 bis 20fache Seildurchmesser) nicht unterschritten wird. Die Druckstellen aber werden sich ganz regelmäßig und gesetzmäßig bilden müssen, sobald das Seil starken Zugbeanspruchungen oder oft wiederholten Biegungen ausgesetzt wird. Unter der Wirkung der gegenseitigen Reibung der Drähte, wird sich alsdann die Druckstelle immer mehr vertiefen; da die spezifische Beanspruchung des stehenbleibenden Materials gegenüber derjenigen des vollen Drahtquerschnittes immer mehr wächst, so wird die Dehnung des Drahtes sich schließlich vorwiegend auf den geschwächten Querschnitt erstrecken und es wird nicht ausgeschlossen sein, daß bei Erreichung der dem Material eigenthümlichen Bruchdehnung der eine und der andere Draht zum Bruche kommt. In meinem Berichte über den mikroskopischen Befund des Hardenberger Seiles („Mittheilungen 1884“, Seite 24) habe ich nachgewiesen, wie während des laufenden Förderbetriebes solche Druckstellen infolge äußerer und innerer Einwirkungen sich so sehr vertiefen können, daß das Aussehen der Drähte im Innern eines alten Seiles oft hohe Bedenken gegen seine Betriebssicherheit hervorrufen würde, wenn eben das Innere immer klar zu Tage läge.

Aus dem Vorausgehenden dürfte einleuchten, daß die Entstehung einzelner Drahtbrüche im Innern eines Seiles durchaus nicht ausgeschlossen ist und da sie im Betriebe thatsächlich eintreten, so dürfte die Frage von praktischer Bedeutung sein, wie groß die Schwächung eines Seiles infolge mehrerer in einiger Entfernung auf einander folgender Drahtbrüche sein mag, oder bis auf welche gegenseitige Entfernung die Drahtbrüche zusammengerückt werden dürfen, ohne eine größere Schwächung im Seil

Digitized by Google

zu erzeugen, als dem Ausfall des betreffenden Drahtquerschnittes an der Bruchstelle entspricht.

Ferner ist wohl zu beachten, daß sich die vorbesprochenen Untersuchungen nur auf diejenigen Vorgänge erstreckt haben, welche in einem Seile bei ruhiger Zugbeanspruchung auftreten, daß also die Schlußfolgerungen sich nur auf diesen Zustand beziehen können. Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß die Verhältnisse sich etwas ändern, wenn die Versuche unter solchen Bedingungen wiederholt werden, wie sie im Betriebe vorkommen.

Digitized by Google

Tabelle 2.

(Tabelle 1 befindet sich auf Seite 5).

Zusammenstellung der bei dem ausführlichen Verfahren gewonnenen Versuchsergebnisse.

Nach dem ausführlichen Verfahren sind geprüft:

Seil Nr. 1 und 2 — ohne Löthstellen,
Seil Nr. 6 und 7 — mit 2 Löthstellen in 460 mm Entfernung, mit je einem gelötheten Draht in jeder Litze,
Seil Nr. 10 und 11 — mit 1 Löthstelle, mit je einem gelötheten Draht in jeder Litze,
Seil Nr. 14 und 15 — mit 3 Löthstellen, mit je einem gelötheten Draht in jeder Litze.

Seil Nr. 1, ohne Löthstellen.

Seilkonstruktion: 6 Litzen mit je 6 Drähten, Haupthanfseele und Hanfeinlage in den Litzen; 5 Windungen einer Litze auf 1 m; mittlerer Seilumfang U = 73 mm; hieraus Durchmesser D = 23,2 mm; und mittlerer Seilquerschnitt F = 423 qmm; mittlere Drahtdicke (20 Messungen) d = 2,53 mm; hieraus Gesamnt-Drahtquerschnitt f = 182 qmm; Querschnittsverhältniß f/F = 0,43; Gewicht für 1 m, g = 1,65 kg; freie Einspannlänge = 5,51 m.

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App. V l	I L	II l_1	III l_1	IV l_1	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je 1 t Belastung		Bleibende Dehnung nach Entlastung	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	gemessen über n Löthstellen					% von l	Mittel im Abschnitt		
	% von l	Verhältnißzahlen (V = 100)							
Meßlänge. Zahl der Löthstellen n =	840	4000	800	800	—				
	0	0	0	0	—				
1	0,000	—	—	—					
2	79	80	95	63		0,079			
3	157	88	79	64		78			
4	223	84	84	67		66			
5	288	82	87	78		65			
Mittel		83,5	86,3	68,0					
4	252	85	89	69		36			
5	295	81	89	72		43			Das Seil wurde an der Einspannstelle nicht mit Bändseln ausgelegt.
4	255	84	88	69		40	0,039		
5	296	84	89	72		41			
4	260	82	87	72		36			
5	298	84	88	71		38			
Mittel		83,3	88,3	70,8					
1	—					—			
2	—					—			
3	—					—			
4	—					—			
5	298	84	88	71		—			
6	350	86	86	75		52			
7	411	85	85	79		61			
8	473	87	92	85		62			
9	540	88	93	86		67			
Mittel		86,0	88,8	79,2					

Digitized by Google

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App V l	I L	II l_1	III l_1	IV l_1	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je 1 t Belastung		Bleibende Dehnung nach Entlastung	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	gemessen über n Löthstellen								
	% von l	Verhältnißzahlen (V = 100)				% von l	Mittel im Abschnitt		
8	511	86	90	86		29			
9	555	88	90	86		44			
8	523	84	91	86		32			
9	559	87	91	87		36	0,035		
8	526	88	92	86		33			
9	564	86	93	86		38			
Mittel		86,5	91,7	86,2					
1	225	72	—	—		—		0,225	
2	275	73	—	—		50			
3	319	75	—	—		44			
4	359	80	—	—		40			
5	402	78	—	—		43	0,044		
6	445	82	—	—		43			
7	486	85	—	—		41			
8	529	85	—	—		43			
9	576	87	91	82		47			
10	633	87	91	83		57			
11	701	87	93	86		68			
12	782	89	93	86		81			
Mittel		81,7	92,0	84,3					
11	759	89	—	—		23			
12	801	91	—	—		42			
11	773	89	—	—		28			
12	809	90	—	—		36	0,033		
11	778	89	—	—		31			
12	815	91	—	—		37			
Mittel		89,8	—	—					
1	330	76	87	79		—		0,330	
2	380	76	—	—		50			$U_2 = 71{,}5$ mm.
3	426	79	—	—		46			
4	470	83	—	—		44			
5	511	83	—	—		41			
6	551	84	—	—		40			
7	590	87	—	—		39	0,043		
8	633	89	—	—		43			
9	676	87	—	—		43			
10	716	89	—	—		40			
11	761	89	—	—		45			
12	807	90	93	87		46			
13	863	91	96	91		56			
14	946	94	99	94		83			
15	1047	94	100	97		101			$U_{15} = 70$ mm.
Mittel		86,1	97,0	92,3					

Digitized by Google

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App. V l	I L	II l_1	III l_1	IV l_1	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je 1 t Belastung % von l	Mittel im Abschnitt	Bleibende Dehnung nach Entlastung	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	gemessen über n Löthstellen								
	% von l	Verhältnißzahlen (V = 100)							
14	1005	97	—	—		42			
15	1073	97	—	—		68			
14	1045	95	—	—		28			
15	1083	96	—	—		38	0,041		
14	1051	96	—	—		32			
15	1089	98	—	—		38			
Mittel		96,5	—	—					
1	488	90	97	84		—		0,488	
2	538	91	—	—		50			
3	585	92	—	—		47			
4	628	90	—	—		43			
5	669	92	—	—		41			
6	714	89	—	—		45			
7	757	91	—	—		43			
8	797	91	—	—		40			
9	838	92	—	—		41	0,043		
10	880	92	—	—		42			
11	919	94	—	—		39			
12	958	94	—	—		39			
13	1000	95	—	—		42			
14	1041	96	—	—		41			
15	1089	96	101	98		48			
16	1178	97	102	100		89			
17	1333	98	102	98		155			
18	1508	100	103	103		175			
Mittel		93,3	102,0	99,8					
17	1488	100	—	—		20			
18	1541	104	—	—		53			
17	1511	101	—	—		70			
18	1559	101	—	—		48	0,042		
17	1535	102	—	—		24			
18	1571	102	—	—		36			
Mittel		101,7	—	—					
1	851	101	109	103		—		0,851	Apparat V wird entfernt
2	—	—	—	—		—			
3	—	—	—	—		—			
4	—	—	—	—		—			
5	—	—	—	—		—			
6	—	—	—	—		—			
7	—	—	—	—		—			
8	—	—	—	—		—			
9	—	—	—	—		—			
10	—	—	—	—		—			
11	—	—	—	—		—			
12	—	—	—	—		—			
13	—	—	—	—		—			
14	—	—	—	—		—			

Digitized by Google

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App.V l	I L	II l_1	III l_1	IV l_1	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je 1 t Belastung: % von l	Mittel im Abschnitt	Bleibende Dehnung nach Entlastung	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	gemessen über n Löthstellen								
	% von l	Verhältnißzahlen (V = 100)							
15	—	—	—	—		—			
16	—	—	—	—		—			
17	—	—	—	—		—			$U_{17} = 69$ mm.
18	—	—	—	—		—			
19 [1])	—	—	—	—		—			[1]) 19 und 20 t wurden 2 Min. lang im Einspielen erhalten, dann abgelesen.
20 [1])	—	—	—	—		—			
21 [2])	Bruch								[2]) 21 t hatten etwa 1 Min. eingespielt, dann leichtes Knacken zwischen den Keilen, gleich darauf Reißen durch den ganzen Querschnitt unter lautem Krach und Funkensprühen.
22									
23									
Mittel		101,0	109,0	103,0					

Seil Nr. 2, ohne Löthstellen.

Seilkonstruktion: wie bei Nr. 1. Mittlerer Seilumfang U = 72 mm; hieraus Durchmesser D = 22,9 mm und mittlerer Seilquerschnitt F = 412 qmm; mittlere Drahtdicke (20 Messungen) d = 2,46 mm; hieraus Gesammt-Drahtquerschnitt f = 171 qmm; Querschnittsverhältniß f/F = 0,42; Gewicht für 1 m, g = 1,65 kg; freie Einspannlänge = 5,51 m.

Meßlänge. Zahl der Löthstellen n =	1000	4000	—	—	—				
1	0,000	—	—	—	—				
2	40	100				0,040			
3	100	102				60			
4	159	101				59			
5	218	100				59			
Mittel		100,8							
4	185	105				33			
5	219	99				34			
4	184	104				35			
5	220	100				36	0,034		Das Seil wurde an der Einspannstelle mit Bändseln ausgelegt.
4	187	102				33			
5	222	100				35			
Mittel		101,7							
1	—	139				—		0,036	
2	—	108				49			
3	—	104				47	0,047		
4	177	102				45			
5	223	99				46			
6	277	99				54			
7	337	98				60			
8	398	101				61			
9	468	100				70			
Mittel		105,6							

Digitized by Google

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App. V l	I L	II l_2	III l_3	IV l_4	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je 1 t Belastung	Bleibende Dehnung nach Entlastung	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	gemessen über n Lötstellen							
	% von l	Verhältnißzahlen (V = 100)				% von l / Mittel im Abschnitt		
8	433	102				35		
9	472	100				39		
8	439	101				33		
9	474	101				35 / 0,035		
8	441	101				33		
9	476	100				35		
Mittel		100,8						
1	123	122				—	0,123	
2	169	108				46		
3	213	106				44		
4	258	103				45		
5	300	102				42		
6	345	101				45 / 0,044		
7	388	102				43		
8	432	102				44		
9	476	101				44		
10	542	101				66		$U_{10} = 71$ mm.
11	618	100				76		
12	701	99				83		
Mittel		103,9						
11	671	100				30		
12	709	100				38		
11	677	100				32		
12	712	101				35 / 0,033		
11	682	101				30		
12	715	100				33		
Mittel		100,3						
1	239	107				—	0,239	
2	286	102				47		
3	327	101				41		
4	370	100				43		
5	411	101				41		
6	456	100				45		
7	499	100				43 / 0,043		
8	541	101				42		
9	583	101				42		
10	630	100				47		
11	670	101				40		
12	714	101				44		
13	795	101				81		
14	893	101				98		
15	1013	101				120		
Mittel		101,2						
14	983	102				30		
15	1029	102				46		
14	997	102				32		
15	1036	101				39 / 0,034		
14	1003	102				33		
15	1038	102				35		$U_{15} = 71$ mm.
Mittel		101,8						

Digitized by Google

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App. V l	I L	II l_1	III l_1	IV l_1	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je 1 t Belastung		Bleibende Dehnung nach Entlastung	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	gemessen über n Lötstellen								
	% von l	Verhältnißzahlen (V = 100)				% von l	Mittel im Abschnitt		
1	433	105				—		0,433	
2	479	102				46			
3	523	102				44			
4	564	102				41			
5	608	101				44			
6	652	101				44			
7	692	101				40			
8	735	101				43	0,044		
9	777	101				42			
10	818	101				41			
11	861	102				43			
12	905	101				44			
13	949	101				44			
14	995	101				46			
15	1046	101				51			
16	1161	100				115			
17	1335	102				174			
18	1578	101				243			
Mittel		101,4							
17	1551	102				27			
18	1588	101				37			
17	1563	101				25			
18	1600	101				37	0,032		
17	1570	102				30			
18	1608	101				38			
Mittel		101,8							
1	860	105				—		0,860	
2	908	103				48			
3	951	103				43			
4	990	104				39			
5	1030	104				40			
6	1072	104				42			
7	1113	103				41			
8	1154	103				41			
9	1198	103				44			
10	1240	102				42	0,044		
11	1279	103				39			
12	1320	103				41			
13	1366	102				46			
14	1407	102				41			
15	1450	103				43			
16	1495	102				45			
17	1550	102				55			$U_{17} = 70$ mm.
18	1610	102				60			Apparat V abgenommen; er war im ganzen etwa 10° geneigt.
19	—	—							
20	—	—							
21	Bruch								Der Bruch erfolgte plötzlich durch Reißen und die Hauptlitzen.
Mittel		102,9							

Digitized by Google

Seil Nr. 6,

2 Löthstellen in 460 mm Entfernung mit je einem zweimal gelöteten Draht in jeder Litze.

Seilkonstruktion und Einspannung wie bei 2.

Mittlerer Seilumfang $U = 71$ mm; hieraus Durchmesser $D = 22{,}6$ mm und mittlerer Seilquerschnitt $F = 401$ qmm; mittlere Drahtdicke (20 Messungen) $d = 2{,}50$ mm; hieraus Gesammt-Drahtquerschnitt $f = 177$ qmm; Querschnittsverhältniß $f/F = 0{,}44$; Gewicht für 1 m, $g = 1{,}64$ kg; freie Einspannlänge $= 3{,}69$ m.

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App. V l	I L	II l_1	III l_2	IV l_3	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je 1 t Belastung	Mittel im Abschnitt	Bleibende Dehnung nach Entlastung	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	gemessen über n Löthstellen								
	% von l	Verhältnißzahlen (V = 100)				% von l			
Meßlänge.	1500	3000	500	500	500				
Zahl der Löthstellen n =	2	2	1	1	0				
1	0,000	—	—	—	—				
2	53	94	113	113	113	0,053			
3	107	81	94	94	94	54			
4	157	89	96	89	102	50	0,053		
5	213	91	94	85	94	56			
Mittel		90,5	99,3	95,3	100,8				
4	179	89	101	85	89	34			
5	213	91	94	85	94	34			
4	180	89	100	89	100	33			
5	213	92	94	85	91	33	0,034		
4	180	91	100	89	100	33			
5	219	91	91	91	91	39			
Mittel		90,5	96,7	87,3	94,7				
1	47	100	128	85	128	—		0,047	
2	96	73	101	83	104	49			
3	140	84	100	86	100	44	0,043		
4	177	86	90	79	90	37			
5	217	95	98	83	92	40			
6	260	96	96	92	100	43			
7	320	95	94	88	94	60			
8	373	97	97	86	97	53			
9	433	95	97	88	97	60			
Mittel		91,2	99,8	85,6	100,2				
8	403	94	94	89	94	30			
9	440	95	91	86	91	37			
8	407	96	93	88	93	33			
9	443	95	95	90	95	36	0,034		
8	410	96	93	88	93	33			
9	443	96	95	90	95	33			
Mittel		95,3	93,5	88,5	93,5				

Digitized by Google

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen					Dehnungen an Meßstelle V			Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	App V l	I L	II l_1	III l_1	IV l_1	Unterschied für je 1 t Belastung		Bleibende Dehnung nach Entlastung	
	gemessen über n Lötstellen					% von l	Mittel im Abschnitt		
	% von l	Verhältnißzahlen (V = 100)							
1*)	113	92	78	63	78	—		0,127	*) Versuch mußte unterbrochen und am andern Tage nach 17 Stunden fortgesetzt werden: Ablesungen am 26./4. 0,127 %, " 27./4. 0,113 %, mith. Verkürzung in 17 Stunden 0,014 %
2	162	86	90	74	90	49			
3	205	84	88	64	88	43			
4	245	87	90	73	89	40			
5	287	90	84	77	91	42	0,042		
6	325	90	92	80	92	38			
7	367	91	93	82	93	42			
8	406	92	94	84	94	39			
9	445	91	94	85	91	39			
10	499	94	92	84	96	54			
11	561	93	93	86	93	62			
12	633	93	92	88	92	72			
Mittel		90,3	90,0	78,7	90,3				
11	603	94	93	90	93	30			
12	638	94	91	88	94	35			
11	610	93	95	89	95	28			
12	644	93	90	87	93	34	0,031		
11	615	93	91	89	91	29			
12	647	93	93	90	93	32			
Mittel		93,3	92,2	88,8	93,2				
1	262	88	79	69	79	—		0,302	
2	250	84	80	72	80	48			
3	293	84	82	75	82	43			
4	332	86	84	78	84	39			
5	373	89	80	75	80	41			
6	411	89	83	78	83	38			
7	452	90	84	81	84	41	0,041		
8	490	89	86	86	86	38			
9	529	91	91	87	91	39			
10	570	91	88	84	88	41			
11	612	93	99	88	92	42			
12	651	92	89	86	89	39			
13	723	92	91	91	91	72			
14	812	92	91	91	91	89			
15	911	91	90	88	90	99			
Mittel		89,1	86,0	82,1	86,0				
14	884	92	90	88	90	27			
15	917	92	92	89	92	33			
14	888	92	90	90	90	29			
15	923	92	91	91	91	35	0,0310		
14	893	93	90	90	90	30			
15	925	93	91	91	91	32			$U_{15} = 69$ mm.
Mittel		92,3	90,7	89,8	90,7				

Digitized by Google

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App.V l	I L	II l_1	III l_1	IV l_1	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je 1 t Belastung		Bleibende Dehnung nach Entlastung	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	gemessen über n Lötstellen					% von l	Mittel im Abschnitt		
	% von l	Verhältnißzahlen (V = 100)							
1	353	85	79	79	79	—		0,353	
2	403	83	79	74	74	50			
3	447	82	81	76	76	44			
4	490	84	82	82	82	43			
5	528	85	83	80	83	38			
6	565	86	81	81	85	37			
7	607	88	82	82	82	42			
8	647	88	87	87	87	40	0,041		
9	687	89	84	84	84	40			
10	723	90	89	86	83	36			
11	764	90	89	89	92	41			
12	807	91	89	87	89	43			
13	844	91	90	88	90	37			
14	885	92	90	88	90	41			
15	930	92	90	90	90	45			
16	1010	92	91	91	91	80			
17	1120	94	93	91	91	110			
18	1267	95	93	93	93	147			
Mittel		88,7	86,2	84,9	85,6				
17	1241	94	92	92	92	26			
18	1279	94	92	92	92	38			
17	1253	94	93	93	93	26			
18	1289	94	93	93	93	36	0,031		
17	1263	94	93	93	93	26			
18	1299	94	94	94	94	36			
Mittel		94,0	92,8	92,8	92,8				
1	610	90	85	85	85	—		0,610	
2	660	88	88	85	85	50			
3	701	88	86	86	86	41			
4	743	88	86	86	83	42			
5	781	90	87	87	85	38			
6	820	89	88	88	85	39			
7	860	90	88	88	88	40			
8	897	91	89	87	87	37			
9	933	91	88	88	88	36			
10	973	92	90	90	90	40	0,041		
11	1012	92	91	89	89	39			$U_{17} = 69$ mm. Apparate abgenommen.
12	1051	92	91	91	90	39			
13	1087	93	92	92	90	36			
14	1127	93	92	92	91	40			
15	1168	93	92	92	92	41			
16	1213	94	92	92	91	45			
17	1255	94	92	92	92	42			
18	1304	95	92	92	92	49			3 Litzen an einer Lötstelle gerissen, die gelöteten Drähte dicht neben der Löthung. Von den übrigen Litzen zeigt eine zwei Drahtbrüche, und zwar ist in derselben der gelötete Draht durch die Löthung gerissen. Die übrigen Drähte zeigen Druckstellen und Einschnürungen an denselben.
21	Bruch								
Mittel		91,3	89,4	88,9	88,3				

Digitized by Google

Seil Nr. 7,

2 Lötstellen in 460 mm Entfernung mit je einem zweimal gelöteten Draht in jeder Litze.

Konstruktion und Einspannung wie bei 2.

Mittlerer Seilumfang U = 70 mm; hieraus Durchmesser D = 22,3 mm und mittlerer Seilquerschnitt F = 390 qmm; mittlere Drahtdicke (20 Messungen) d = 2,50 mm; hieraus Gesamtdrahtquerschnitt f = 177 qmm; Querschnittsverhältniß f/F = 0,45. Gewicht für 1 m, g = 1,67 kg; freie Einspannlänge 3,49 m.

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App. V	I	II	III	IV	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je t Belastung		Bleibende Dehnung nach Entlastung	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	l	L	l_1	l_1	l_1				
	gemessen über n Lötstellen								
	% von l	Verhältnißzahlen (V = 100)				% von l	Mittel im Abschnitt		
Meßlänge	1500	3000	500	500	500				
Zahl der Lötstellen n =	2	2	1	1	0				
1	0,000	—	—	—	—				
2	63	75	63	32	63	0,063			
3	125	80	80	64	64	62			
4	185	87	87	65	76	60			
5	241	86	83	75	83	56			
Mittel		82,0	78,3	59,0	71,5				
4	210	86	76	67	76	31			
5	249	86	80	72	80	39			
4	213	86	85	66	75	36			
5	253	85	79	63	79	40	0,035		
4	220	87	82	64	82	33			
5	253	86	79	63	79	33			
Mittel		86,0	80,2	65,8	78,5				
1	71	89	85	56	56	—		0,071	
2	121	78	83	66	66	50			
3	167	80	84	72	72	46	0,045		
4	211	82	85	76	85	44			
5	252	86	87	71	79	41			
6	307	87	85	72	78	55			
7	367	84	79	71	82	60			
8	427	86	84	75	89	60			
9	490	87	86	82	90	63			
Mittel		83,3	84,2	71,2	77,1				
8	460	87	87	78	87	30			
9	507	85	83	79	83	47			
8	473	85	85	80	80	34			
9	513	85	82	78	82	40	0,036		
8	481	87	83	79	79	32			
9	513	86	82	78	78	32			
Mittel		85,8	83,7	78,7	81,5				

Digitized by Google

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App. V l	I L	II l_1	III l_1	IV l_1	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je 1 t Belastung	Mittel im Abschnitt	Bleibende Dehnung nach Entlastung	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	gemessen über n Lötstellen								
	% von l	Verhältnißzahlen (V = 100)				% von l			
1	170	75	82	71	59	—		0,170	
2	220	70	82	64	64	50			
3	265	73	83	60	68	45			
4	307	76	85	65	65	42			
5	347	79	86	63	70	40	0,041		
6	390	80	87	67	72	43			
7	429	82	89	70	75	39			
8	479	84	88	75	75	50			
9	518	84	85	73	73	39			
10	543	86	87	73	73	55			
11	615	86	90	71	74	72			
12	713	87	87	79	76	68			
Mittel		80,2	85,9	69,2	70,3				
11	687	88	88	79	76	26			
12	728	87	88	82	74	41			
11	697	86	89	83	77	31			
12	732	86	90	85	77	35	0,034		
11	701	87	91	86	77	31			
12	738	87	89	89	76	37			
Mittel		86,8	89,2	81,0	76,2				
1	265	75	98	98	59	—		0,265	
2	317	73	88	88	57	52			
3	361	76	91	89	64	44			
4	404	76	94	89	64	43			
5	445	79	99	94	67	41			
6	485	81	95	91	70	40			
7	527	81	95	87	72	42	0,043		
8	568	83	95	88	74	41			
9	608	83	95	89	72	40			
10	650	85	95	86	77	42			
11	693	86	92	81	78	43			
12	733	86	93	82	79	40			
13	807	88	92	82	79	74			
14	900	89	93	82	76	93			
15	991	89	91	85	79	91			
Mittel		82,0	93,9	87,4	70,5				
14	969	89	91	87	80	22			
15	1012	89	89	89	79	43			
14	985	88	91	89	77	27			
15	1020	89	90	88	80	35	0,032		
14	989	90	93	87	79	31			
15	1025	88	92	88	80	36			U_{15} = 69 mm.
Mittel		89,0	91,0	88,0	79,2				

Digitized by Google

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App. V l	I L	II l_1	III l_1	IV l_1	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je 1 t Belastung, % von l	Mittel im Abschnitt	Bleibende Dehnung nach Entlastung	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	gemessen über n Löthstellen: % von l	Verhältnißzahlen (V = 100)							
1	443	79	81	90	68	—		0,443	
2	487	77	82	86	70	44			
3	532	79	86	86	71	45			
4	573	80	87	87	70	41			
5	615	80	88	88	68	42			
6	656	82	85	88	73	41			
7	696	82	89	92	78	40			
8	735	81	87	90	76	39	0,042		
9	776	85	85	90	75	41			
10	817	85	86	88	78	41			
11	858	85	86	89	77	41			
12	903	87	86	91	80	45			
13	945	87	87	89	78	42			
14	987	88	87	87	79	42			
15	1035	88	85	83	81	48			
16	1125	89	85	87	82	90			
17	1254	90	86	88	81	129			
18	1449	90	85	88	84	195			
Mittel		84,3	85,7	88,2	76,1				
17	1420	92	86	89	83	29			
18	1467	90	86	90	85	47			
17	1435	91	86	91	84	32			
18	1470	90	87	91	84	35	0,035		
17	1441	91	86	90	83	29			
18	1477	90	87	91	84	36			
Mittel		90,7	86,3	90,3	83,8				
1	759	87	79	97	84	—		0,759	
2	808	83	77	94	82	49			
3	850	84	78	96	82	42			
4	892	84	78	96	83	42			
5	933	85	79	96	79	41			
6	973	85	78	95	80	40			
7	1013	86	81	97	81	40			
8	1055	86	80	95	80	42			
9	1095	87	82	93	82	40			
10	1132	87	81	93	83	37	0,043		$U_{18} = 68$ mm.
11	1175	87	82	94	82	42			An der einen Löthstelle sind 3 Litzen gerissen; von den gelötheten Drähten sind 2 dicht neben der Löthung und einer durch dieselbe gerissen; in einer der übrigen Litzen ist der gelöthete Draht dicht neben der Löthung gerissen. An der andern Löthstelle zeigen besonders zwei gelöthete Drähte neben der Löthung Einschnürungen und geringe Ausknickung des Drahtes.
12	1213	88	84	92	82	38			
13	1255	88	84	92	83	42			
14	1297	88	85	91	83	42			
15	1338	89	87	93	81	41			
16	1383	89	87	91	82	45			
17	1428	90	85	92	81	45			
18	1485	90	88	92	84	57			
21	Bruch								
Mittel		86,8	81,9	94,1	82,2				

Digitized by Google

Seil Nr. 10,

1 Lötstelle mit je einem gelöteten Draht in jeder Litze.

Konstruktion und Einspannung wie bei 2.

Mittlerer Seilumfang U = 72 mm; hieraus Durchmesser D = 22,9 mm und mittlerer Seilquerschnitt F = 412 qmm; mittlere Drahtdicke (20 Messungen) d = 2,53 mm; hieraus Gesamtdrahtquerschnitt f = 182 qmm; Querschnittsverhältnis f/F = 0,44; Gewicht für 1 m, g = 1,61 kg; freie Einspannlänge 7,53 m.

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen					Dehnungen an Meßstelle V			Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	App. V	I	II	III	IV	Unterschied für je 1 t Belastung		Bleibende Dehnung nach Entlastung	
		L	l_1	l_1	l_1				
	gemessen über n Lötstellen								
	% von l	Verhältniszahlen (V = 100)				% von l	Mittel im Abschnitt		
Meßlänge	1000	3500	500	500					
Zahl der Lötstellen n =	1	1	1	0					
1	0,000	—	—	—					
2	72	71	69	83		0,0172			
3	130	72	77	77		58			
4	182	79	88	77		52			
5	235	80	77	85		53			
Mittel		75,5	77,8	80,5					
4	205	81	73	68		30			
5	237	80	84	76		32			
4	206	81	73	68		31	0,0192		
5	240	80	75	75		34			
4	207	80	77	68		33			
5	240	81	83	83		33			
Mittel		80,5	77,5	73,0					
1	54	69	37	37		—		11,054	
2	110	67	55	55		46			
3	160	73	75	75		50	0,044		
4	200	76	80	80		40			
5	240	81	75	83		40			
6	290	82	83	83		50			
7	342	82	82	88		52			
8	397	83	86	91		55			
9	458	86	87	100		61			
Mittel		77,7	73,3	76,9					
8	430	86	88	102		28			
9	460	87	87	104		30			
8	433	86	88	102		27			
9	468	86	85	107		35	0,031		
8	435	86	87	110		33			
9	470	86	85	106		35			
Mittel		86,2	86,7	105,2					

Digitized by Google

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App. V l	I L	II l_1	III l_1	IV l_1	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je 1 t Belastung		Bleibende Dehnung nach Entlastung	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	gemessen über n Lötstellen								
	% von l	Verhältnißzahlen (V = 100)				% von l	Mittel im Abschnitt		
1	128	70	63	109		—		0,128	
2	180	73	78	100		52			
3	222	75	72	109		42			
4	265	78	76	106		43			
5	307	80	78	98		42	0,042		
6	350	82	86	103		43			
7	387	83	88	103		37			
8	430	100	84	102		43			
9	465	98	86	103		35			
10	527	97	87	108		62			
11	596	95	91	104		69			
12	675	94	95	101		79			
Mittel		85,4	82,0	103,9					
11	648	95	93	105		27			
12	690	94	93	101		42			
11	660	94	91	103		30	0,032		
12	695	94	92	104		35			
11	668	93	90	103		27			
12	698	94	92	103		30			
Mittel		94,0	91,8	103,5					
1	238	92	84	101		—		0,238	
2	290	89	83	97		52			
3	333	87	78	96		43			
4	374	90	86	96		41			
5	415	90	87	101		41			
6	456	92	88	96		41			
7	498	92	88	100		42	0,042		
8	535	92	90	97		37			
9	575	92	94	101		40			
10	615	93	91	104		40			
11	655	93	95	101		40			
12	698	94	92	100		43			
13	765	93	92	99		67			Die Apparate werden abgenommen; der Versuch wird ohne die Dehnungsbestimmungen fortgesetzt.
14		—	—	—					
15									
Mittel		91,5	88,3	99,2					
14									
15									
14									
15									
14									
15									$U_{15} = 71$ mm.
Mittel									

Digitized by Google

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App. V l	I L	II l_1	III l_1	IV l_1	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je 1 t Belastung	Bleibende Dehnung nach Entlastung	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	gemessen über n Löthstellen							
	% von l	Verhältnißzahlen ($V = 100$)				% von l Mittel im Abschnitt		
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17					*)			*) Knistern an der Löthstelle.
18								
Mittel								
17								
18								
17								
18								
17								
18								
Mittel								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								$U_{15} = 70$ mm.
9								
10								Der Bruch erfolgte durch 4 Litzen und die Haupthanfseele. Die Löthungen sind unversehrt; der Bruch der Drähte ist unmittelbar am Ende der Löthung erfolgt; am anderen Ende der Löthung zeigte jeder Draht eine Einschnürung. Ein Stück ist in zwei Druckstellen eingeschnürt und herausgerissen. Es wurde nachträglich am Boden gefunden. Im Uebrigen zeigen die Drähte Druckstellen und geringe Einschnürungen.
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20	Bruch							
Mittel								

Digitized by Google

Seil Nr. 11.

1 Lötstelle mit je einem gelöteten Draht in jeder Litze.

Konstruktion und Einspannung wie bei 2.

Mittlerer Seilumfang U = 71 mm; hieraus Durchmesser D = 22,6 mm und mittlerer Seilquerschnitt F = 401 qmm; mittlere Drahtdicke (20 Messungen) d = 2,52 mm; hieraus Gesamtdrahtquerschnitt f = 180 qmm; Querschnittsverhältniß f/F = 0,45; Gewicht für 1 m, g = 1,56 kg; freie Einspannlänge 4,46 m.

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App V	I	II	III	IV	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je 1 t Belastung	Mittel im Abschnitt	Bleibende Dehnung nach Entlastung	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	l	L	l_1	l_1	l_1				
	gemessen über n Lötstellen								
	% von l	Verhältnißzahlen (V = 100)				% von l			
Meßlänge	1000	3500	500	500					
Zahl der Lötstellen n =	1	1	1	0					
1	0,000	—	—	—					
2	45	76	89	89		0,045			
3	97	79	102	102		52			
4	142	85	113	106		45			
5	198	82	111	101		56			
Mittel		80,5	103,8	99,5					
4	166	81	108	96		32			
5	208	82	115	96		42			
4	174	79	115	92		34	0,033		
5	206	83	112	97		32			
4	177	81	113	90		29			
5	208	82	111	96		31			App. V neigt sich nach der Seite, jedoch entgegengesetzt wie bei den bisherigen Versuchen.
Mittel		81,3	113,2	94,5					
1	45	31	133	89		—		0,045	
2	90	54	133	89		45			
3	131	69	122	107		41	0,041		
4	171	77	117	94		40			
5	207	83	116	97		36			
6	253	83	111	95		46			
7	308	81	110	97		55			
8	362	84	110	99		54			
9	418	85	110	96		56			
Mittel		71,9	118,0	95,9					
8	392	84	112	92		26			
9	421	85	109	95		29			
8	390	84	113	92		31			
9	423	84	109	95		33	0,030		
8	393	84	112	92		30			
9	426	85	108	94		33			
Mittel		84,3	110,5	93,3					

Digitized by Google

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen					Dehnungen an Meßstelle V			Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	App. V l	I L	II l_1	III l_1	IV l_1	Unterschied für je 1 t Belastung		Bleibende Dehnung nach Entlastung	
	gemessen über n Lothstellen								
	% von l	Verhältnißzahlen (V = 100)				% von l	Mittel im Abschnitt		
1	113	50	142	88		—		0,113	
2	158	58	126	101		45			
3	200	65	120	90		42			
4	238	69	118	84		38			
5	274	74	117	95		36	0,039		
6	312	78	109	96		38			
7	350	82	114	97		38			
8	385	82	109	94		35			
9	427	82	108	94		42			
10	470	85	115	98		43			
11	533	86	113	101		63			
2	610	87	108	102		77			
1		74,8	116,4	95,0					
	580	87	110	103		30			
	629	85	111	99		49			
	599	85	110	93		30			
	628	86	111	99		29	0,033		
	600	85	110	97		28			
	630	87	111	95		30			
M.		85,8	110,5	97,7					
1		64	138	96		—		0,188	
2		63	126	84		50			
3		58	121	100		42			
4		60	119	100		39			
5	[illegible]	74	118	101		37			
6	392	77	112	102		36			
7	431	80	116	102		39	0,039		
8	465	81	116	108		34			
9	502	83	119	115		37			
10	542	84	118	111		40			
11	578	86	118	107		36			
12	615	87	114	104		37			
13	670	89	116	104		55			
14	740	91	114	105		70			
15	830	91	116	111		90			
Mittel		79,3	118,7	103,3					
14	810	92	116	109		20			
15	853	92	117	108		43			
14	822	92	117	109		31			
15	858	92	117	110		36	0,032		
14	828	92	118	109		30			
15	860	92	116	109		32			$U_{15} = 70$ mm.
Mittel		92,0	116,8	109,0					

Digitized by Google

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App. V l	I L	II l_1	III l_1	IV l_1	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je 1 t Belastung		Bleibende Dehnung nach Entlastung	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	gemessen über n Löthstellen								
	% von l	Verhältnißzahlen (V = 100)				% von l	Mittel im Abschnitt		
1	306	83	150	124		—		0,306	
2	356	78	140	112		50			
3	398	80	136	116		42			
4	435	83	130	110		37			
5	473	84	127	110		38			
6	513	85	129	109		40			
7	546	86	129	106		33			
8	582	88	127	106		36			
9	618	89	123	107		36	0,039		
10	652	90	123	110		34			
11	688	91	125	110		36			
12	729	91	123	110		41			
13	760	92	126	113		31			
14	799	96	123	110		39			
15	847	99	123	113		48			
16	912	98	125	112		65			
17	1018	100	124	114		106			
18	1116	103	125	116		98			
Mittel		89,8	128,2	111,6					
17	1088	104	127	118		28			
18	1110	105	128	119		22			
17	1080	106	130	120		30			
18	1115	106	129	118		35	0,029		
17	1088	106	131	121		27			
18	1120	106	132	121		32			
Mittel		105,5	129,5	119,5					
1	390	120	190	170		—		0,390	
2	450	124	187	160		51			
3	490	121	176	151		40			
4	528	119	170	144		38			
5	565	118	163	142		37			
6	600	118	160	143		35			
7	640	116	156	141		40			
8	670	116	158	140		30			
9	708	115	153	136		38			
10	742	115	151	135		34	0,039		
11	780	114	149	133		38			$U_{16} = 69$ mm.
12	815	114	147	133		35			
13	850	114	146	132		35			21 t spielten 1/4 Min. ein; dann Bruch durch 3 Litzen an der Löthstelle. Die Löthungen sind unversehrt; der Bruch der Drähte ist unmittelbar am Ende der Löthung erfolgt.
14	890	113	144	128		40			
15	927	113	145	129		37			Alle Drähte haben Druckstellen mit geringen Einschnürungen.
16	963	113	141	131		36			
17	1006	113	139	127		43			In einer der übrigen Litzen ist ein Draht zerrissen.
18	1057	112	136	127		51			
19	—	—	—	—					
21	Bruch								
Mittel		116,6	156,2	139,0					

Digitized by Google

Seil Nr. 14,

3 Lötstellen in 500 mm Entfernung mit je einem dreimal gelöteten Draht in jeder Litze.

Seilkonstruktion und Einspannung wie bei 2.

Mittlerer Seilumfang $U = 71$ mm; hieraus Durchmesser $D = 22{,}6$ mm und mittlerer Seilquerschnitt $F = 401$ qmm; mittlere Drahtdicke (20 Messungen) $d = 2{,}53$ mm; hieraus Gesamt-Drahtquerschnitt $f = 182$ qmm; Querschnittsverhältniß $f/F = 0{,}45$; Gewicht für 1 m, $g = 1{,}61$ kg; freie Einspannlänge = 3,99 m.

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App. V l	I L	II l_1	III l_2	IV l_3	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je 1 t Belastung		Bleibende Dehnung nach Entlastung	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	gemessen über n Lötstellen					% von l	Mittel im Abschnitt		
	% von l	Verhältnißzahlen (V = 100)							
Meßlänge. Zahl der Lötstellen n =	2000	3500	500	500	500				
	3	3	1	1	1				
1	0,000	—	—	—	—				
2	73	67	82	82	82	0,073			
3	130	82	108	108	108	57			
4	188	85	106	85	85	58			
5	245	90	98	90	90	57			
Mittel		81,0	98,5	91,3	91,3				
4	211	91	104	85	85	34			
5	254	91	102	94	94	43			
4	215	94	103	84	84	39			
5	253	91	103	95	95	38	0,087		
4	220	94	109	91	91	33			
5	253	92	102	94	94	35			
Mittel		92,2	103,7	90,5	90,5				
1	66	108	152	121	91	—		0,066	
2	125	91	112	96	96	59			
3	165	90	109	97	97	40	0,047		
4	210	91	114	95	95	45			
5	253	92	103	95	95	43			
6	307	95	104	98	98	54			
7	366	94	104	93	93	59			
8	425	95	104	89	94	59			
9	487	95	99	90	94	62			
Mittel		94,6	111,2	97,1	94,8				
8	452	95	102	97	97	35			
9	494	97	101	93	93	42			
8	464	97	99	95	95	30			
9	498	96	100	92	92	34	0,035		
8	465	97	99	95	95	33			
9	499	96	100	100	96	34			
Mittel		96,3	100,2	95,3	94,7				

Digitized by Google

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App. V l	I L	II l_1	III l_1	IV l_1	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je 1 t Belastung		Bleibende Dehnung nach Entlastung	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	gemessen über n Löthstellen								
	% von l	Verhältnißzahlen (V = 100)				% von l	Mittel im Abschnitt		
1	153	103	157	131	92	—		0,153	
2	203	93	128	118	89	50			
3	250	94	120	120	96	47			
4	292	93	116	110	96	42			
5	335	94	113	107	90	43	0,043		
6	377	95	106	101	90	42			
7	418	94	110	105	96	41			
8	460	96	109	104	96	42			
9	496	96	105	101	93	36			
10	554	97	108	105	94	58			
11	611	98	108	101	98	57			
12	692	98	107	101	92	81			
Mittel		95,9	113,6	108,7	93,5				
11	660	100	109	103	94	32			
12	698	98	106	100	95	38			
11	669	98	108	102	96	28			
12	710	97	107	101	99	41	0,034		
11	677	97	109	103	95	33			
12	710	97	107	101	99	33			
Mittel		97,8	107,7	102,8	96,3				
1	253	97	134	119	95	—		0,253	
2	304	91	125	112	86	51			
3	344	96	122	110	87	40			
4	385	93	119	104	88	41			
5	427	94	117	108	94	42			
6	465	95	116	108	95	38			
7	506	96	111	107	95	41	0,042		
8	547	97	110	102	91	41			
9	587	98	112	102	95	40			
10	629	98	111	102	95	42			
11	671	98	110	98	95	42			
12	714	98	106	98	95	43			
13	789	98	106	99	96	75			
14	870	99	103	99	97	81			
15	968	99	103	99	97	98			
Mittel		96,5	113,7	104,5	93,1				
14	943	100	101	100	98	25			
15	984	99	104	98	96	41			
14	957	99	102	98	96	27			
15	994	99	105	99	97	37	0,031		
14	967	100	103	99	97	27			
15	998	100	101	98	96	31			$U_{15} = 70$ mm.
Mittel		99,5	103,7	98,7	96,7				

Digitized by Google

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen					Dehnungen an Meßstelle V			Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	App. V l	I L	II l_1	III l_1	IV l_1	Unterschied für je 1 t Belastung		Bleibende Dehnung nach Entlastung	
	gemessen über n Lötstellen								
	% von l	Verhältnißzahlen (V = 100)				% von l	Mittel im Abschnitt		
1	415	100	120	111	92	—		0,415	
2	467	95	111	107	91	52			
3	510	95	110	106	94	43			
4	552	96	109	101	94	42			
5	592	96	111	101	95	40			
6	634	97	107	101	95	42			
7	675	97	107	104	95	41			
8	715	97	106	101	98	40			
9	754	97	106	101	95	39	0,042		
10	794	97	106	101	96	40			
11	835	97	105	101	96	41			
12	873	98	103	99	94	38			
13	917	99	105	100	96	44			
14	958	98	104	100	98	41			
15	1001	99	104	100	96	43			
16	1095	100	104	100	99	94			
17	1233	99	102	99	97	138			
18	1418	101	100	99	99	185			
Mittel		97,7	106,7	101,8	95,7				
17	1392	101	102	101	101	26			
18	1448	99	99	99	98	56			
17	1425	100	100	100	98	23			
18	1475	99	99	99	99	50	0,037		
17	1445	100	100	100	100	30			
18	1480	99	100	100	99	35			
Mittel		99,7	100,0	99,8	99,2				
1	779	99	103	103	98	—		0,779	
2	827	97	104	102	97	48			
3	873	97	103	103	96	46			
4	913	97	103	101	96	40			
5	955	97	101	101	96	42			
6	993	98	101	99	97	38			
7	1033	98	103	101	97	40			
8	1070	97	101	99	97	37			
9	1110	98	101	101	99	40	0,042		
10	1149	98	101	101	97	39			
11	1189	98	101	99	96	40			
12	1228	98	101	101	98	39			
13	1267	98	101	99	98	39			
14	1306	98	100	100	100	39			
15	1350	98	101	101	101	44			
16	1389	99	101	101	99	39			
17	1444	99	100	100	98	55			
18	1489	99	101	101	98	45			
20	Bruch								
Mittel		97,9	101,5	100,7	97,7				

$U_{18} = 69{,}5$ mm.

Bruchlast (nahe 21 t, Hebel spielte bereits frei von der Unterlage).

An der ersten Lötstelle ist kein Bruch erfolgt.

An der mittleren Lötstelle sind 5 Litzen gerissen; die gelötheten Drähte sind dicht an den Löthungen gerissen; in der unversehrten Litze ist der gelöthete Draht nahe der Löthung sehr stark eingeschnürt.

An der dritten Lötstelle ist der gelöthete Draht einer Litze dicht an der Löthung zerrissen.

Digitized by Google

Seil Nr. 15.

3 Lötstellen in 500 mm Entfernung mit je einem dreimal gelöteten Draht in jeder Litze.

Seilkonstruktion und Einspannung wie bei 2.

Mittlerer Seilumfang $U = 72$ mm; hieraus Durchmesser $D = 22{,}9$ mm und mittlerer Seilquerschnitt $F = 412$ qmm; hieraus Gesamt-Drahtquerschnitt $f = 178$ qmm; Querschnittsverhältniß $f/F = 0{,}43$; Gewicht für 1 m, $g = 1{,}63$ kg; freie Einspannlänge $= 4{,}01$ m.

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen					Dehnungen an Meßstelle V			Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	App. V l	I L	II l_1	III l_1	IV l_1	Unterschied für je 1 t Belastung		Bleibende Dehnung nach Entlastung	
	gemessen über n Lötstellen								
	% von l	Verhältnißzahlen ($V = 100$)				% von l	Mittel im Abschnitt		
Meßlänge.	2000	3500	500	500	500				
Zahl der Lötstellen $n =$	3	3	1	1	1				
1	0,000	—	—	—	—				
2	74	66	81	68	81	0,074			
3	132	80	91	91	91	58			
4	188	87	85	85	85	56			
5	243	92	91	91	107	55			
Mittel		81,3	87,0	83,8	91,0				
4	211	95	95	95	95	32			
5	245	93	90	90	98	34			
4	212	94	94	94	104	33			
5	246	93	89	89	106	34	0,033		
4	213	94	94	94	103	33			
5	247	93	89	89	97	34			
Mittel		93,7	91,8	91,8	100,5				
1	63	100	95	95	95	—		0,063	
2	117	85	103	85	103	54			
3	162	88	86	86	99	45	0,045		
4	206	90	87	87	97	44			
5	246	93	89	89	98	40			
6	286	94	95	95	95	50			
7	352	98	97	97	97	56			
8	408	97	98	98	98	56			
9	476	97	99	99	97	68			
Mittel		93,6	93,6	91,6	97,7				
8	445	100	90	90	99	31			
9	480	98	96	96	101	35			
8	449	99	94	94	102	31			
9	484	97	95	95	103	35	0,034		
8	450	98	93	93	102	34			
9	485	97	95	95	103	35			
Mittel		98,2	93,8	93,8	102,2				

Digitized by Google

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App. V l	I L	II l_1	III l_1	IV l_1	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je 1 t Belastung	Mittel im Abschnitt	Bleibende Dehnung nach Entlastung	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	gemessen über n Lötstellen								
	% von l	Verhältniszahlen (V = 100)				% von l			
1	146	108	96	96	110	—		0,146	
2	192	97	94	94	104	46			
3	235	91	94	94	102	43			
4	279	94	93	93	100	44			
5	320	95	94	94	100	41	0,043		
6	360	95	94	94	100	40			
7	401	96	90	90	100	41			
8	444	97	95	95	99	43			
9	488	97	94	94	102	44			
10	546	98	95	95	103	58			
11	619	97	91	94	97	73			
12	698	96	95	95	100	79			
Mittel		97,0	94,0	94,0	101,4				
11	668	97	96	96	102	30			
12	715	95	92	92	98	47			
11	687	96	93	93	99	28			
12	720	96	94	74	100	33	0,034		
11	690	96	93	93	99	30			
12	724	95	94	94	99	34			
Mittel		95,8	93,7	93,7	99,5				
1	258*)	97	93	93	101	—		0,258	*) Vermuthlich liegt hier ein Ablesungsfehler vor; derselbe kann aus den Protokollen jedoch nicht nachgewiesen werden. Für die Folge ist die Ablesung 278 als richtig angenommen; dann gelten die bei **) und ***) eingeklammerten Zahlen.
2	326	85	86	86	92	68**)			
3	371	86	86	86	92	45			
4	415	86	87	87	87	44			
5	459	87	87	87	87	44			
6	500	88	88	88	92	41			
7	545	89	88	88	92	45	0,045***)		
8	584	91	86	89	92	39			
9	625	91	88	90	96	41			
10	668	91	90	90	96	43			
11	711	91	90	90	98	43			**) (48).
12	755	92	93	93	98	44			
13	825	92	90	92	97	70			***) (0,043).
14	911	93	92	92	99	86			
15	1029	94	91	93	97	118			
Mittel		90,2	89,0	89,6	94,3				
14	1000	94	92	92	96	29			
15	1043	93	92	92	96	43			
14	1013	94	93	93	97	30			
15	1050	93	91	91	97	37	0,033		
14	1022	93	92	92	98	28			
15	1055	94	91	91	97	33			
Mittel		93,5	91,8	91,8	96,8				

Digitized by Google

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App. V l	I L	II l_1	III l_1	IV l_1	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je 1 t Belastung	Mittel im Abschnitt	Bleibende Dehnung nach Entlastung	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	gemessen über n Lötstellen								
	% von l	Verhältnißzahlen (V = 100)				% von l			
1	469	91	90	90	94	—		0,469	
2	509	86	86	86	90	40			
3	550	87	81	84	91	41			
4	594	88	84	84	91	44			
5	635	88	85	85	91	41			
6	678	88	88	88	94	43			
7	716	89	89	89	92	38			
8	758	89	90	90	95	42	0,042		
9	799	90	90	90	93	41			
10	840	92	92	92	96	41			
11	881	91	91	91	95	41			
12	923	91	91	91	98	42			
13	967	92	91	92	97	44			
14	1009	93	93	93	95	42			
15	1055	94	91	91	97	46			$U_{15} = 70$ mm.
16	1156	93	92	93	97	101			
17	1285	94	93	93	95	129			
18	1475	95	92	94	95	190			
Mittel		90,6	89,6	89,8	94,2				
17	1449	96	94	94	97	26			
18	1500	94	93	95	96	51			
17	1473	95	94	95	96	27			
18	1512	95	93	94	97	39	0,034		
17	1487	95	93	94	97	25			
18	1523	94	92	93	97	36			
Mittel		94,8	93,2	94,5	96,7				
1	796	92	90	90	98	—		0,796	
2	847	91	92	92	94	51			
3	892	90	90	90	92	45			
4	934	89	90	90	94	42			
5	975	90	90	90	92	41			
6	1017	90	90	90	94	42			
7	1055	91	91	91	95	38			
8	1097	91	91	91	95	42			
9	1136	92	92	92	95	39			
10	1176	92	92	92	95	40	0,043		
11	1218	92	92	92	95	42			
12	1258	93	92	92	95	40			
13	1299	93	92	92	95	41			
14	1340	94	93	93	96	41			
15	1383	93	93	94	95	43			$U_{16} = 70$ mm.
16	1427	93	93	94	95	44			
17	1475	94	92	94	96	48			
18	1531	94	93	94	95	56			4 Litzen gerissen und zwar die 4 gelötheten Drähte neben der Löthung. Alle andern Lötstellen unversehrt, bis auf Einschnürungen zu einer oder beiden Seiten der Löthung.
21	Bruch								
Mittel		91,9	91,6	91,8	94,8				

Digitized by Google

Ergebnisse der Versuche.

Alle Seile mit gleicher Konstruktion und aus den gleichen Drähten hergestellt: 6 Litzen mit je 6 Drähten, Hauptlanfseele und Hanfeinlage in den Litzen. Aus allen Versuchen Nr. 1—19: mittleres Gewicht für 1 m, g = 1,638 kg; mittlerer Seilumfang U = 71,5 mm; mittlerer Durchmesser D = 22,69 mm; mittlerer Seilquerschnitt F = 407,3 qmm; mittlere Drahtdicke d = 2,516 mm; mittlerer Gesamnt-Drahtquerschnitt f = 178,9 qmm; mittleres Querschnittsverhältniß f/F = 0,437; mittlere Drahtfestigkeit (nach Zahnle 1) P = 632,5 kg; mittlere Bruchspannung der Drähte p = 127,5 kg/qmm.

Seil Nr.	Angaben über die Zahl der Lötstellen	Dehnungen in 0,001 % der Meßlänge 1 gemessen mit Apparat V für die jeweilig erstmalige Belastung in Tonnen																	Bruch- last t	Bruch- Deh- nung 0,001 %	Gesammtmittel der Verhältnißzahlen bezogen auf Kpp. V. (Vergl. Tabelle 2)			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			I	II	III	IV
1	Ohne Lötstellen. . .	0	79	157	223	288	350	411	473	540	633	701	782	863	946	1047	1178	1333	1508	21	—	88,8	94,4	85,5	—
2	. . . do.	0	40	100	159	218	277	337	398	468	542	618	701	795	893	1013	1161	1335	1578	21	—	102,0	—	—	—
	a Mittel . . .		60	129	191	253	318	374	436	504	588	660	742	829	920	1030	1170	1334	1543	21	—	95,4	94,4	85,5	—
10	1 Lötstelle	0	72	130	182	235	290	342	397	458	527	596	675	765	—	—	—	—	—	—	—	84,4	82,5	91,7	—
11	. . do.	0	45	97	142	198	253	308	362	418	470	533	610	670	740	830	912	1018	1116	21	—	87,4	120,2	105,3	—
	b Mittel . . .		59	114	162	217	272	325	380	438	499	565	643	718	(740)	(830)	(912)	(1018)	(1116)	21	—	85,9	101,4	98,5	—
	b bezogen auf a = 100		98	88	85	86	86	87	87	87	85	86	87	87	(80)	(81)	(78)	(76)	(72)	100	—	—	—	—	—
6	2 Lötstellen.	0	53	107	157	213	260	320	373	433	499	561	633	728	812	911	1010	1120	1267	21	—	91,5	92,4	87,5	92,4
7	. . do.	0	68	125	185	241	307	367	427	490	553	645	713	807	900	991	1125	1254	1449	21	—	85,2	80,9	79,6	77,0
	c Mittel . . .		58	116	171	227	284	344	400	462	536	603	673	765	856	951	1068	1187	1358	21	—	88,4	86,7	83,6	84,7
	c bezogen auf a = 100		97	90	90	90	89	92	92	92	91	91	91	92	93	92	91	89	88	100	—	—	—	—	—
14	3 Lötstellen.	0	73	130	188	245	307	366	425	487	554	611	692	789	870	968	1095	1233	1418	20	—	95,4	105,7	99,2	94,9
15	. . do.	0	74	132	188	243	296	352	408	476	546	619	698	825	911	1029	1156	1285	1475	21	—	92,8	91,7	91,5	97,1
	d Mittel . . .		74	131	188	244	302	359	417	482	550	615	695	807	891	999	1126	1259	1447	21	—	94,1	98,7	95,4	96,0
	d bezogen auf a = 100		123	102	98	96	95	96	96	96	94	93	94	97	97	97	96	94	94	100	—	—	—	—	—

Seil Nr.	Angaben über die Zahl der Lötstellen	Dehnungsunterschiede für je 1 t Belastungszuwachs in 0,001 % von L, gemessen mit Apparat V (jeweilige erstmalige Belastung)																	Bleibende Dehnung in 0,001 % nach der Entlastung von					Mittlerer Dehnungsunterschied für die											
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	5	9	12	15	18	Belastungswechsel zwischen Tonnen					Haupt- mittel	Belastungsstufen zwischen 1 und (wiederholte Belastung)					Haupt- mittel
																								4 5	8 9	11 12	14 15	17 18	0,001 %	1 5	9	12	15	18	0,001 %
1	Ohne Lötstellen. . .	79	78	66	65	62	61	62	57	57	68	81	56	83	101	89	155	175	—	225	330	488	851	39	35	35	41	42	38,0	—	44	43	43	—	43,3
2	. . . do.	40	60	59	59	54	60	61	70	66	76	88	81	98	120	115	174	243	36	123	239	433	860	34	35	33	34	32	33,6	47	44	43	44	44	44,4
	a Mittel . . .	60	69	63	62	51	61	62	63	62	72	85	69	91	111	102	165	209	36	174	285	461	856	37	35	33	38	37	35,8	(47)	44	43	44	44	43,9
10	1 Lötstelle	72	58	52	53	50	52	55	61	62	69	79	67	—	—	—	—	—	—	54	128	238	—	—	32	31	32	—	31,7	47	42	42	—	—	43,7
11	. . do.	45	52	45	50	46	55	54	56	48	63	77	55	70	90	65	106	98	45	113	188	306	599	33	30	30	33	29	31,4	41	39	39	39	39	39,4
	b Mittel . . .	59	55	49	52	48	54	55	59	55	66	78	61	(70)	(90)	(65)	(106)	(98)	50	121	213	(306)	(599)	33	31	33	(32)	29	31,6	44	41	41	(39)	(39)	41,6
	b bezogen auf a = 100	98	80	78	83	94	89	88	85	89	92	92	88	(77)	(81)	(64)	(64)	(47)	139	70	75	(66)	(47)	89	89	100	(84)	(105)	88	(94)	93	98	(89)	(89)	95
6	2 Lötstellen.	53	54	50	56	43	60	58	60	54	69	72	72	80	99	80	110	147	47	127	202	353	610	34	34	31	31	31	32,2	43	42	41	41	41	41,6
7	. . do.	65	62	60	56	55	60	60	63	55	72	66	74	93	91	90	129	195	71	170	265	443	779	35	36	34	32	35	34,4	45	44	43	42	43	43,4
	c Mittel . . .	58	58	55	56	49	60	59	62	55	67	70	73	91	95	85	120	171	59	149	234	398	685	35	35	33	32	33	33,4	44	43	42	42	42	42,5
	c bezogen auf a = 100	97	84	87	90	96	98	92	90	89	93	86	106	100	86	85	73	82	164	86	82	106	80	95	100	100	84	89	93	(94)	95	98	95	95	96
14	3 Lötstellen.	73	57	58	57	54	59	59	62	58	57	81	75	81	98	94	138	185	66	153	253	415	779	37	35	34	31	37	34,8	47	43	42	42	42	43,2
15	. . do.	74	58	56	55	50	56	56	68	58	73	79	70	86	118	101	129	190	63	146	258	469	796	33	34	34	33	34	33,6	46	43	43	42	43	43,4
	d Mittel . . .	74	58	57	56	52	58	58	65	58	65	80	73	84	108	98	134	188	65	150	256	442	788	35	35	34	32	36	34,2	47	43	43	42	43	43,8
	d bezogen auf a = 100	123	84	83	90	102	95	94	94	99	90	94	106	92	97	96	81	90	181	86	90	96	92	95	100	100	83	84	97	95	(100)	98	102	95	98	99

Digitized by Google

Tabelle 4.

Zusammenstellung der bei dem abgekürzten Verfahren gewonnenen Versuchsergebnisse.

Nach dem abgekürzten Verfahren sind geprüft:

Seil Nr. 3 und 4 — ohne Löthstellen (Nr. 5 ist noch nicht geprüft),
Seil Nr. 8 und 9 — mit 2 Löthstellen in 460 mm Entfernung, mit je einem gelötheten Draht in jeder Litze,
Seil Nr. 12 und 13 — mit 1 Löthstelle, mit je einem gelötheten Draht in jeder Litze,
Seil Nr. 16 und 17 — mit 3 Löthstellen, mit je einem gelötheten Draht in jeder Litze,
Seil Nr. 18 und 19 — alle Drähte an einer Stelle gelöthet,
Seil Nr. 20 und 21 — in jeder Litze ein Draht gelöthet, Löthstellen 1 m auseinander,
Litze Nr. 22 — 7 Drähte, davon 6 Stück mit Löthstellen in je 1 m Entfernung.

Seil Nr. 3, ohne Löthstellen.

Seilkonstruktion (wie bei Nr. 1): 6 Litzen mit je 6 Drähten, Haupthanfseele und Hanfeinlage in den Litzen; 5 Windungen einer Litze auf 1 m.

Ursprünglicher mittlerer Seilumfang U = 72 mm; daraus Durchmesser D = 22,9 mm und Seilquerschnitt F = 412 qmm; mittlerer Drahtdurchmesser (20 Messungen) d = 2,47 mm; Gesammt-Drahtquerschnitt f = 172 qmm; Querschnittsverhältniß f F = 0,42; Gewicht für 1 m, g = — kg.

Ganze Seillänge 6,6 m; freie Länge 5,54 m.

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen					Dehnungen an Meßstelle V			Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	App. V l = 1000	I L = 1000	—	—	—	Unterschied für je 1 Tonne Belastung	Bleibende Dehnung nach Entlastung auf 1 Tonne	Elastische Dehnung für Stufe 1 bis x Tonnen	
	gemessen über n Löthstellen								
	n = 0	n = 0	—	—	—				
	% von l	Verhältnißzahlen (V = 100)							
1	0,000	—							
2	62	61				0,062			
3	116	76				54			
4	169	82				53			
5	221	83				52			
Mittel		75,5							
1	— 17	(61)					— 0,017		
5	226	81						0,243	
6	281	86				55			
7	339	86				58			
8	400	83				61			
9	468	84				68			
Mittel		84,0							
1	51	(73)					51		
9	473	83						422	
10	547	85				74			
11	626	87				79			
12	710	86				84			
Mittel		85,3							

Digitized by Google

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App. V 1 = 1000	I L = 1000	—	—	—	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je 1 Tonne Belastung	Bleibende Dehnung nach Entlastung auf 1 Tonne	Elastische Dehnung für Stufe 1 bis x Tonnen	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	gemessen über n Löthstellen								
	n = 0	n = 0	—	—	—				
	% von 1	Verhältnißzahlen (V = 100)							
1	174	(75)					174		
12	720	88						546	
13	815	90				95			
14	925	91				110			
15	1054	90				129			
Mittel		89,8							
1	384	(90)					384		
15	1066	89						682	
16	1201	93				135			
17	1386	97				185			
18	1646	97				260			$U_{18} = 70$ mm
Mittel		94,0							
1	873	(93)					873		
18	—								
19	—								
20	—								
21	Bruch								Der Bruch erfolgte in einer Litze innerhalb der Versuchslänge; 22 t waren nicht zum Einspielen gekommen.
Mittel		—							
Gesammtmittel		85,7							

Seil Nr. 4, ohne Löthstellen.

Seilkonstruktion wie bei Nr. 3.

Ursprünglicher mittlerer Seilumfang U = 72 mm; daraus Durchmesser D = 22,9 mm und Seilquerschnitt F = 412 qmm; mittlerer Drahtdurchmesser (20 Messungen) d = 2,50 mm; Gesammt-Drahtquerschnitt f = 177 qmm; Querschnittsverhältniß f/F = 0,43; Gewicht für 1 m, g = — kg.

Ganze Seillänge 6,6 m; freie Länge 5,54 m.

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App. V 1 = 1000	I L = 4000	—	—	—	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je 1 Tonne Belastung	Bleibende Dehnung nach Entlastung auf 1 Tonne	Elastische Dehnung für Stufe 1 bis x Tonnen	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	gemessen über n Löthstellen								
	n = 0	n = 0	—	—	—				
	% von 1	Verhältnißzahlen (V = 100)							
1	0,000	—							
2	85	73				0,085			
3	138	88				53			
4	190	89				52			
5	241	94				51			
Mittel		86,0							

Digitized by Google

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen		Dehnungen an Meßstelle V			Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	App. V 1 = 1000	I L = 4000	Unterschied für je 1 Tonne Belastung	Bleibende Dehnung nach Entlastung auf 1 Tonne	Elastische Dehnung für Stufe 1 bis x Tonnen	
	n = 0	n = 0				
	% von 1	Verhältniszahlen (V = 100)				
1	— 14	(77)		—0,014		
5	247	92			0,261	
6	296	93	49			
7	350	96	54			
8	408	96	58			
9	468	98	60			
Mittel		95,0				
1	57	(88)		57		
9	478	97			421	
10	545	98	67			
11	620	98	75			
12	710	100	90			
Mittel		98,3				
1	171	(96)		171		
12	718	98			547	
13	810	100	92			
14	910	101	100			
15	1025	101	115			
Mittel		100,0				
1	360	(117)		360		
15	1035	101			675	
16	1152	101	117			
17	1313	102	161			
18	1521	102	208			U_{10} = 70 mm.
Mittel		101,5				
1	745	(100)		745		
18	—					
19	—					
20	—					
21	Bruch					Der Bruch erfolgte in einer Litze innerhalb der Versuchslänge.
Mittel						
Gesammtmittel		96,2				

Digitized by Google

Seil Nr. 8,

2 Löthstellen in 460 mm Entfernung mit je einem zweimal gelötheten Draht in jeder Litze.
Seilkonstruktion wie bei Nr. 3.
Ursprünglicher mittlerer Seilumfang U = 71 mm; daraus Durchmesser D = 22,6 mm und Querschnitt F = 401 qmm; mittlerer Drahtdurchmesser (20 Messungen) d = 2,50 mm; Gesammt-Drahtquerschnitt f = 177 qmm; Querschnittsverhältniß f/F = 0,44; Gewicht für 1 m, g = 1,62 kg.
Ganze Seillänge 6,4 m; freie Länge 5,22 m.

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen					Dehnungen an Meßstelle V			Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	App. V l_1=1500	I L=3500	II l_1=500	III l_1=500	IV l_1=500	Unterschied für je 1 Tonne Belastung	Bleibende Dehnung nach Entlastung auf 1 Tonne	Elastische Dehnung für Stufe 1 bis x Tonnen	
	gemessen über n Löthstellen								
	n = 2	n = 2	n = 1	n = 1	n = 0				
	% von 1	Verhältnißzahlen (V = 100)							
1	0,000								
2	53	53	75	113	94	0,053			
3	106	58	94	94	94	53			
4	153	75	118	105	92	47			
5	200	79	100	100	100	47			
Mittel		66,2	96,8	103,0	95,0		— 0,010		
1	— 10	(79)	(186)	(140)	(93)			224	
5	214	80	103	93	93				
6	260	83	108	92	92	46			
7	309	85	110	91	91	49			
8	360	87	111	94	94	51			
9	413	86	106	97	97	53			
Mittel		84,0	107,6	93,4	93,4				
1	51	(63)	(135)	(96)	(77)		51		
9	431	86	102	93	93			380	
10	492	87	102	93	93	61			
11	550	88	102	91	98	58			
12	612	89	101	95	101	62			
Mittel		87,5	101,8	93,0	96,3				
1	140	(74)	(93)	(83)	(83)		140		
12	626	89	99	93	99			486	
13	691	89	101	93	101	65			
14	760	91	103	92	103	69			
15	856	91	100	93	100	96			
Mittel		90,0	101,8	92,8	101,8				
1	268	(84)	(100)	(87)	(93)		268		
15	873	90	99	94	101			605	Umfang 69 mm.
16	960	91	100	98	102	87			*) Umfang 69 mm.
17	1,075	92	99	95	102	115			**) Eine Litze ganz zerrissen; der gelöthete Draht durch die Löthung. In der gleichen Löthstelle sind in 2 Litzen die gelötheten Drähte dicht an der Löthung zerrissen. In der zweiten Löthstelle ist in 2 der nicht zerrissenen Litzen der gelöthete Draht dicht neben der Löthung gebrochen.
18	1,226	92	100	95	101	151			
Mittel		101,3	99,5	95,5	101,5				
1	0,516	(82)	(91)	(88)	(91)		516		
18*)	1,245	92	98	93	100			729	
21**)	Bruch								
Mittel		92,0	98,0	93,0	100,0				
Gesammtmittel		86,9	100,9	95,1	98,0				

Digitized by Google

Seil Nr. 9.

2 Löthstellen in 460 mm Entfernung mit je einem zweimal gelöteten Draht in jeder Litze.

Seilkonstruktion wie bei Nr. 3.

Ursprünglicher mittlerer Seilumfang U = 71 mm; daraus Durchmesser D = 22,6 mm und Seilquerschnitt F = 401 qmm; mittlerer Drahtdurchmesser (20 Messungen) d = 2,50 mm; Gesammt-Drahtquerschnitt f = 177 qmm; Querschnittsverhältniß f/F = 0,44; Gewicht für 1 m, g = 1,59 kg.

Ganze Seillänge 6,4 m; freie Länge 5,22 m.

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App. V $l = 1600$	I $L = 4000$	II $l_1 = 500$	III $l_1 = 500$	IV $l_1 = 500$	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je 1 Tonne Belastung	Bleibende Dehnung nach Entlastung auf 1 Tonne	Elastische Dehnung für Stufe 1 bis x Tonnen	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	gemessen über n Löthstellen								
	n = 2	n = 2	n = 1	n = 1	n = 0				
	% von l	Verhältnißzahlen (V = 100)							
1	0,000								
2	68	59	95	95	95	0,063			
3	120	75	100	100	100	57			
4	176	82	91	102	102	56			
5	233	96	103	103	103	57			
Mittel		78,0	97,3	100	100				
1	— 5	(107)	(138)	(103)	(138)		—0,005		
5	238	101	101	101	101			0,243	
6	290	89	97	97	97	52			
7	344	96	99	99	99	54			
8	401	99	100	100	100	57			
9	464	99	99	99	99	63			
Mittel		94,0	99,2	99,2	99,2				
1	57	(93)	(117)	(100)	(117)		57		
9	464	87	99	99	99			407	
10	525	78	95	95	95	61			
11	592	94	98	98	101	67			
12	648	100	99	99	102	56			
Mittel		89,8	97,8	97,8	99,3				
1	108	(23)	116	(116)	(116)		108		
12	649	100	99	99	102			541	
13	732	98	101	101	101	83			
14	814	98	103	103	103	82			
15	914	98	101	101	101	100			
Mittel		98,5	101,0	101,0	101,8				
1	271	(114)	(102)	(108)	(108)		271		
15	938	98	101	101	101			662	
16	1,045	91	100	100	100	112			
17	1,186	97	100	100	100	141			
18	1,360	98	100	100	98	174			
Mittel		96,0	100,3	100,3	100,0				
1	573	(100)	(104)	(101)	(94)		573		
18	—	—	—	—	—				
21	Bruch								
Mittel		—	—	—	—				
Gesammtmittel		91,3	99,1	99,7	100,1				

$U_{18} = 69$ mm.

2 Drähte rissen, als 18 t wieder zum Einspielen gekommen. 3 Litzen gerissen; die 3 gelöteten Drähte neben der Löthung; in den übrigen Litzen ein Draht in der Löthung gerissen. An der zweiten Löthstelle ist ein Draht einer gerissenen Litze zum zweitenmal dicht neben der Löthung gebrochen.

Digitized by Google

Seil Nr. 12,

1 Löthstelle mit je einem gelötheten Draht in jeder Litze.

Seilkonstruktion wie bei Nr. 8.

Ursprünglicher mittlerer Seilumfang U = 72 mm; daraus Durchmesser D = 22,9 mm und Seilquerschnitt F = 412 qmm; mittlerer Drahtdurchmesser (20 Messungen) d = 2,57 mm; Gesammt-Drahtquerschnitt f = 186 qmm; Querschnittsverhältniß f/F = 0,45; Gewicht für 1 m, g = 1,67 kg.

Ganze Seillänge 5,6 m; freie Länge 4,56 m.

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen				Dehnungen an Meßstelle V			Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	App. V 1 = 1000	I L = 3500	II l_1 = 500	III l_1 = 500	Unterschied für je 1 Tonne Belastung	Bleibende Dehnung nach Entlastung auf 1 Tonne	Elastische Dehnung für Stufe 1 bis x Tonnen	
	gemessen über 100 Löthstellen							
	n = 1	n = 1	n = 1	n = 0				
	% von 1	Verhältnißzahlen (V = 100)						
1	0,000	—	—	—				
2	53	79	113	113	0,053			
3	100	84	120	120	47			
4	143	99	105	105	43			
5	190	99	105	105	47			
Mittel		90,3	110,8	110,8				
1	— 13	(120)	(150)	(150)		— 0,013		
5	197	97	102	102			0,210	
6	243	94	99	107	46			
7	300	93	93	100	57			
8	362	92	94	99	62			
9	420	92	95	100	58			
Mittel		93,6	96,6	101,6				
1	58	(97)	(90)	(108)		58		
9	435	90	92	97			377	
10	496	92	89	99	61			
11	567	92	92	99	71			
12	648	89	93	96	81			
Mittel		90,8	91,5	97,8				
1	168	(73)	(100)	(100)		168		
12	658	90	91	94			490	
13	728	92	91	96	70			
14	818	91	93	98	90			
15	928	91	97	97	110			
Mittel		91,0	93,0	96,3				
1	340	(78)	(92)	(92)		340		
15	950	93	95	95			610	
16	1,015	93	102	99	65			
17	1,123	93	103	99	108			
18 *)	1,270	94	101	96	174			
Mittel		93,3	100,3	97,3				
1								
18								
19								
21 **)	Bruch							
Gesammtmittel		91,8	98,4	100,8				

U_{15} = 70 mm.

*) Knistern an der Löthstelle.

**) 21 t spielten ein, als der Bruch durch 3 Litzen in der Löthstelle erfolgte; die gelötheten Drähte sind dicht neben der Löthung gerissen; in einer unversehrten Litze ist ein Draht gerissen. Die übrigen Drähte zeigen deutliche Druckstellen zum Theil mit geringen Einschnürungen.

Digitized by Google

Seil Nr. 13,

1 Löthstelle mit je einem geldöteten Draht in jeder Litze.

Seilkonstruktion wie bei Nr. 3.

Ursprünglicher mittlerer Seilumfang $U = 72$ mm; daraus Durchmesser $D = 22{,}9$ mm und Seilquerschnitt $F = 412$ qmm; mittlerer Drahtdurchmesser (20 Messungen) $d = 2{,}55$ mm; Gesammt-Drahtquerschnitt $f = 184$ qmm; Querschnittsverhältniß $f/F = 0{,}45$; Gewicht für 1 m, $g = 1{,}67$ kg.

Ganze Seillänge 5,2 m; freie Länge 4,02 m.

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App. V 1 = 1000	I L = 3000	II $l_1 = 500$	III $l_1 = 500$	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je 1 Tonne Belastung	Bleibende Dehnung nach Entlastung auf 1 Tonne	Elastische Dehnung für Stufe 1 bis x Tonnen	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	gemessen über n Löthstellen							
	n = 1	n = 1	n = 1	n = 0				
	% von 1	Verhältnißzahlen (V = 100)						
1	0,000	—	—	—				
2	65	86	92	92	0,065			
3	118	87	85	85	53			
4	164	89	85	85	46			
5	212	92	85	85	48			
Mittel		88,5	86,8	86,8				
1	— 30	(114,3)	(100)	(100)		— 0,30		
5	212	92	85	85			242	
6	260	93	85	85	48			
7	310	95	85	85	50			
8	368	94	87	87	58			
9	425	94	89	89	57			
Mittel		93,6	86,2	86,2				
1	50	(90)	(70)	(70)		50		
9	438	94	87	87			388	
10	480	95	92	92	42			
11	540	96	93	93	60			
12	614	85	91	91	74			
Mittel		92,5	90,8	90,8				
1	119	(94)	(76)	(76)		119		
12	630	95	89	89			511	
13	710	94	87	90	80			
14	787	93	89	91	77			
15	872	95	92	94	85			
Mittel		94,3	89,3	91,0				
1	295	(93)	(83)	(83)		295		
15	890	96	90	92			595	$U_{15} = 70$ mm.
16	998	94	90	92	108			
17	1,104	94	91	92	106			
18	1,250	95	93	94	146			
Mittel		94,8	91,0	92,5				$U_{18} = 69$ mm.
1	545	(90)	(85)	(85)		545		Bruch in der Löthstelle durch 3 Litzen; die geldöteten Drähte sind dicht neben der Löthung gebrochen; sämmtliche Drähte zeigen Druckstellen und theilweise geringe Einschnürungen an denselben.
18	1,280	91	94	94			735	
21	Bruch	—	—	—				
Mittel		94,0	94,0	94,0				
Gesammtmittel		93,0	89,7	90,2				

Digitized by Google

Seil Nr. 16,

3 Löthstellen in je 500 mm Entfernung mit je einem dreimal gelötheten Draht in jeder Litze.

Seilkonstruktion wie bei Nr. 3.

Ursprünglicher mittlerer Seilumfang U = 72 mm; daraus Durchmesser D = 22,9 mm und Seilquerschnitt F = 412 qmm; mittlerer Drahtdurchmesser (20 Messungen) d = 2,54 mm; Gesammt-Drahtquerschnitt f = 182 qmm; Querschnittsverhältniß f/F = 0,44; Gewicht für 1 m, g = 1,65 kg.

Ganze Seillänge 6,0 m; freie Länge 4,78 m.

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen					Dehnungen an Meßstelle V			Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	App. V 1 = 3000	I L = 4000	II l_1 = 500	III l_1 = 500	IV l_1 = 500	Unterschied für je 1 Tonne Belastung	Bleibende Dehnung nach Entlastung auf 1 Tonne	Elastische Dehnung für Stufe 1 bis x Tonnen	
	gemessen über n Löthstellen								
	n = 3	n = 3	n = 1	n = 1	n = 1				
	% von 1	Verhältnißzahlen (V = 100)							
1	0,000	—	—	—	—				
2	75	83	80	80	80	0,075			
3	158	89	89	89	101	83			
4	230	91	78	96	104	72			
5	295	96	88	104	115	65			
Mittel		87,0	83,8	93,3	100,0				
1	51	(89)	(95)	(111)	(111)		0,051		
5	319	88	82	100	107			268	
6	381	92	89	100	110	62			
7	431	96	95	102	111	50			
8	483	97	99	108	112	52			
9	541	98	96	104	111	58			
Mittel		94,2	92,2	102,8	110,2				
1	137	(102)	(113)	(113)	(132)		137		
9	543	99	99	103	114			406	
10	604	99	99	106	109	61			
11	660	100	97	106	112	56			
12	725	101	99	108	110	65			
Mittel		99,8	98,5	105,8	111,3				
1	212	(106)	(97)	(113)	(127)		212		
12	739	100	95	103	108			527	
13	811	100	94	104	109	72			
14	907	99	93	104	106	96			
15	1,011	100	85	102	107	104			
Mittel		99,8	91,8	103,5	107,5				
1	401	(96)	(84)	(92)	(103)		401		
15*)	1,051	96	89	99	103			650	
16	1,150	98	89	97	104	99			
17	1,282	98	92	100	101	132			
18**)	1,459	95	89	96	99	177			
Mittel		96,8	89,8	98,0	101,8				
1	690	(93)	(84)	(92)	(99)		690		
18	1,510	95	90	97	99			820	
22***)	Bruch								
Mittel		95,0	90,0	97,0	99,0				
Gesammtmittel		95,4	91,0	100,1	105,0				

*) U_{15} = 71 mm.

**) U = 70 mm.

***) 22 c spielt ½ Min. lang ein. 4 Litzen der äußersten Löthstelle gerissen, die gelötheten Drähte dicht neben der Löthung; in einer unversehrten Litze ist an derselben Löthstelle ein Draht neben der Löthung gerissen.

In der mittleren Löthstelle ist ein gelötheter Draht neben der Löthung gerissen.

In der dritten Löthstelle sind die Litzen sehr ausgebogen und die gelötheten Drähte in der Nähe der Löthung ausgeknickt.

Digitized by Google

Seil Nr. 17.

3 Löthstellen mit je 500 mm Entfernung mit je einem dreimal gelötheten Draht in jeder Litze.

Seilkonstruktion wie bei Nr. 3.

Ursprünglicher mittlerer Seilumfang U = 71 mm; daraus Drahtdurchmesser D = 22,6 mm und Seilquerschnitt F = 401 qmm; mittlerer Drahtdurchmesser (20 Messungen) d = 2,50 mm; Gesammt-Drahtquerschnitt f = 177 qmm; Querschnittsverhältniß f/F = 0,44; Gewicht für 1 m, g = 1,66 kg.

Ganze Seillänge 6,0 m; freie Länge 4,78 m.

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen					Dehnungen an Meßstelle V			Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	App. V $l = 2000$	I $L = 4000$	II $l_1 = 500$	III $l_1 = 500$	IV $l_1 = 500$	Unterschied für je 1 Tonne Belastung	Bleibende Dehnung nach Entlastung auf 1 Tonne	Elastische Dehnung für Stufe 1 bis x Tonnen	
	gemessen über n Löthstellen								
	n = 3	n = 3	n = 1	n = 1	n = 1				
	% von 1	Verhältnißzahlen (V = 100)							
1	0,000	—	—	—	—				
2	33	76	121	121	121	0,033			
3	85	76	118	94	118	50			
4	143	91	126	81	98	58			
5	199	94	121	101	101	56			
Mittel		84,3	121,5	100,0	109,5				
1	0,005	(114)	—	(143)	(143)		—0,005		
5	204	104	118	98	98			209	
6	260	101	123	92	100	56			
7	305	102	118	92	105	45			
8	358	100	112	89	101	53			
9	417	103	115	91	101	59			
Mittel		102,0	117,2	92,4	101,0				
1	61	(119)	(191)	(85)	(106)		61		
9	422	104	118	85	104			361	
10	480	103	113	117	104	58			
11	542	104	111	92	103	62			
12	609	103	108	92	105	67			
Mittel		103,5	112,5	96,5	104,0				
1	139	(120)	(151)	(93)	(105)		139		
12	625	102	109	93	102			486	
13	700	102	106	91	103	75			
14	794	102	103	96	101	94			
15	900	101	102	91	100	106			$U_{15} = 70$ mm.
Mittel		101,8	105,0	92,8	101,5				
1	302	(104)	(137)	(90)	(107)		302		*) $U_{16} = 69$ mm.
15	925	99	110	93	102			623	**) 21 t spielen ½ Min. ein; es reißt ein Draht durch die Löthung; nach ½ Min. reißt ein zweiter Draht; nach nahezu 2 Min. reißen 3 Litzen, die gelötheten Drähte in denselben sind dicht neben der Löthung gerissen; in einer unversehrten Litze ist ein gelötheter Draht neben der Löthung gebrochen; sonst alles unversehrt.
16	1,032	99	107	93	101	107			
17	1,175	97	106	94	102	143			
18	1,396	98	103	93	102	221			
Mittel		98,3	106,5	93,3	101,8				
1	667	(100)	(109)	(94)	(106)		667		
18 *)	1,417	97	103	96	102			750	
21 **)	Bruch								
Mittel		97,0	103,0	96,0	102,0				
Gesammtmittel		97,8	111,0	95,2	103,3				

Digitized by Google

Seil Nr. 18,

eine Löthstelle, etwa 50 mm lang; alle 36 Drähte sind hier gelöthet.

Seilkonstruktion wie bei Nr. 3.

Ursprünglicher mittlerer Seilumfang U = 72 mm; daraus Durchmesser D = 22,9 mm und Seilquerschnitt F = 412 qmm; mittlerer Drahtdurchmesser (20 Messungen) d = 2,56 mm; Gesammt-Drahtquerschnitt f = 185 qmm; Querschnittsverhältniß f/F = 0,45; Gewicht für 1 m, g = 1,65 kg.

Ganze Seillänge 5,20 m. freie Länge 4,06 m.

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen				Dehnungen an Meßstelle V			Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	App. V l = 1000	I L = 3500	II l_1 = 500	III l_1 = 500	Unterschied für je 1 Tonne Belastung	Bleibende Dehnung nach Entlastung auf 1 Tonne	Elastische Dehnung für Stufe 1 bis x Tonnen	
	gemessen über n Löthstellen							
	n = 1	n = 1	n = 1	n = 0				
	% von 1	Verhältnißzahlen (V = 100)						
1	0,000	—	—	—				
2	80	64	75	100	0,080			
3	148	77	91	94	68			
4	215	81	93	93	67			
5	280	85	100	100	65			
Mittel		76,8	90,5	96,8				
1	7	(72)	(69)	(115)		0,007		
5	288	84	97	97			0,281	
6	348	85	103	98	60			
7	425	85	94	104	77			
8	520	81	88	104	95			
9	606	80	89	106	86			
Mittel		83,0	94,2	101,8				
1	168	(60)	(65)	(113)		168		
9	645	76	84	99			477	
10	730	78	82	99	85			
11	813	78	84	103	83			
12	913	78	83	103	100			
Mittel		77,5	83,3	101,0				
1	350	(60)	(65)	(112)		350		
12	392	77	82	103			582	
13	1,100	75	78	105	168			
14	Bruch							14 t spielten 1½ Min. lang ein, dann Bruch in 2 Litzen. Alle Drähte sind neben den Löthungen gerissen; ein Draht riß unmittelbar vor dem Seilbruch durch die Löthung; in den unzerrissenen Litzen sind alle Drähte unversehrt.
Mittel		76,0	80,0	104,0				
Gesammtmittel		78,3	87,0	100,9				

Digitized by Google

Seil Nr. 19,

eine Löthstelle, etwa 50 mm lang; alle 86 Drähte sind hier gelöthet.

Seilkonstruktion wie bei Nr. 3.

Ursprünglicher mittlerer Seilumfang U = 72 mm; daraus Durchmesser D = 22,9 mm und Seilquerschnitt F = 412 qmm; mittlerer Drahtdurchmesser (20 Messungen) d = 2,54 mm; Gesammt-Drahtquerschnitt f = 182 qmm; Querschnittsverhältniß f/F = 0,44; Gewicht für 1 m, g = 1,68 kg.

Ganze Seillänge 5,55 m; freie Länge 4,43 m.

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App. V $l = 1000$	I $L = 3500$	II $l_1 = 500$	III $l_1 = 500$	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je 1 Tonne Belastung	Bleibende Dehnung nach Entlastung auf 1 Tonne	Elastische Dehnung für Stufe 1 bis x Tonnen	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	gemessen über n Löthstellen							
	n = 1	n = 1	n = 1	n = 0				
	% von 1	Verhältnißzahlen (V = 100)						
1	0,000	—	—	—				
2	68	72	118	88	0,068			
3	141	86	113	99	73			
4	217	99	101	99	76			
5	278	97	108	101	61			
Mittel		86,8	110,0	95,0				
1	20	(117)	(136)	(114)		0,020		
5	283	98	106	100			0,263	
6	348	97	103	97	65			
7	402	97	100	100	54			
8	472	97	102	102	70			
9	540	96	100	104	68			
Mittel		97,0	102,2	100,5				
1	122	(105)	(105)	(116)		122		
9	555	94	97	101			433	
10	637	93	97	104	82			
11	713	91	95	104	76			
12	815	89	91	103	102			$U_{12} = 71$ mm.
Mittel		91,8	95,0	103,0				
1	282	(87)	(90)	(109)		282		
12	850	87	89	101			568	
14	Bruch							2 Drähte sind vor dem Seilbruch gerissen. Beim Bruch sind 3 Litzen ganz durchgerissen, bei den vierten 4 Drähte; zwei gelöthete Drähte sind in der Löthung gebrochen, die andern neben derselben.
Mittel		87,0	89,0	101,0				
Gesammtmittel		91,7	99,1	99,9				

Digitized by Google

Seil Nr. 20,

6 Löthstellen in je 1000 mm Entfernung; in jeder Litze ist nur ein Draht gelöthet.

Seilkonstruktion: 6 Litzen mit je 7 Drähten, von denen einer als Seele dient.
Haupthanfseele getheert; Eisendrähte.

Ursprünglicher mittlerer Seilumfang U = 88 mm; daraus Durchmesser D = 28 mm und Seilquerschnitt F = 615 qmm; mittlerer Drahtdurchmesser (20 Messungen) d = 3,17 mm; Gesammt-Drahtquerschnitt f = 332 qmm; Querschnittsverhältniß f/F = 0,54; Gewicht für 1 m, g = 2,83 kg.
Ganze Seillänge 8,20 m; freie Länge 6,95 m.

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen					Dehnungen an Meßstelle V			Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	App. V l = 1000	I L = 6000	II l_1 = 500	III l_1 = 500	IV l_1 = 500	Unterschied für je 1 Tonne Belastung	Bleibende Dehnung nach Entlastung auf 1 Tonne	Elastische Dehnung für Stufe 1 bis x Tonnen	
	gemessen über n Löthstellen								
	n = 3	n = 3	n = 1	n = 1	n = 1				
	% von 1	Verhältnißzahlen (V = 100)							
1	0,000	—	—	—	—				
2	50	100	280	200	80	0,050			
3	90	86	178	44	67	40			
4	122	89	148	16	66	32			
5	161	88	137	12	87	39			
Mittel		90,8	185,8	68,0	75,0				
1	−0,028	(23)	(64)	(45)	(36)		−0,028		
5	170	85	141	12	94			0,198	
6	204	85	118	20	88	34			
7	245	85	106	24	82	41			
8	288	85	104	35	83	43			
9	340	85	100	41	82	52			
Mittel		85,0	113,8	26,4	85,8				
1	62	(105)	(142)	(18)	(125)		62		
9	350	86	103	46	80			288	U_9 = 87,5 mm; Ruck im Seil.
10	abgenommen		abgenommen						
11									
12									
16	Bruch								Bruch einer Litze in der Löthstelle, welche ihren gelötheten Draht enthielt.
Mittel		86,0	103,0	46,0	80,0				
Gesammtmittel		87,6	134,2	46,8	80,3				

Digitized by Google

Seil Nr. 21.

6 Löthstellen in je 1000 mm Entfernung; in jeder Litze ist nur ein Draht gelöthet.

Seilkonstruktion wie bei Nr. 20, aber Stahldraht.

Ursprünglicher mittlerer Seilumfang U = 71 mm; daraus Durchmesser D = 22,6 mm und Seilquerschnitt F = 401 qmm; mittlerer Drahtdurchmesser (20 Messungen) d = 2,53 mm; Gesammt-Drahtquerschnitt f = 182 qmm; Querschnittsverhältniß f/F = 0,45; Gewicht für 1 m, g = 1,87 kg.

Ganze Seillänge 7,93 m; freie Länge 6,83 m.

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen					Dehnungen an Meßstelle V			Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
	App. V l = 1000	I L = 6000	II l_1 = 500	III l_1 = 500	IV l_1 = 500	Unterschied für je 1 Tonne Belastung	Bleibende Dehnung nach Entlastung auf 1 Tonne	Elastische Dehnung für Stufe 1 bis x Tonnen	
	gemessen über n Löthstellen								
	n = 1	n = 2	n = 1	n = 1	n = 1				
	% von 1	Verhältnißzahlen (V = 100)							
1	0,000	—	—	—	—				
2	36	47	139	139	111	0,036			
3	76	70	79	105	105	40			
4	120	75	100	117	100	44			
5	152	88	92	105	92	32			
Mittel		70,0	102,5	116,5	102,0				
1	−0,011	(40)	(80)	(160)	(80)		−0,011		
5	152	88	92	105	92			0,163	
6	194	84	82	103	93	42			
7	249	84	80	96	88	55			
8	291	84	89	110	96	42			
9	345	83	81	99	92	54			
Mittel		84,6	81,8	102,6	93,6				
1	1	(68)	(162)	(270)	(162)		1		
9	353	85	79	102	96			352	
10	320	106	106	125	119	33			Apparat hat sich verstellt.
11	399	100	100	120	115	79			
12	499	88	88	104	104	100			
Mittel		94,8	93,3	112,8	108,5				
1	64	(78)	(140)	(160)	(120)		64		
12	533	86	86	101	94			469	
13	591	85	85	98	91	58			Ruck im Seil.
14	692	84	84	95	90	101			Ruck im Seil.
15	777	84	82	93	88	85			
Mittel		84,8	84,3	96,8	90,8				
1	244	(64)	(71)	(93)	(64)		244		
15	794	82	81	93	81			550	U_{15} = 70 mm.
16	868	82	81	92	83	74			
17	970	84	80	93	82	102			
18	1,088	84	83	90	85	118			U_{18} = 70 mm.
Mittel		83,0	81,3	92,0	82,8				
1	454	(69)	(73)	(90)	(69)		454		
18	1,117	83	82	90	86			663	
23	Bruch								Eine Litze gerissen; die einzelnen Drähte sind an den Druckstellen gerissen. Alle Löthstellen sind unversehrt.
Mittel		83,0	82,0	90,0	86,0				
Gesammtmittel		83,4	88,0	101,8	94,0				

Digitized by Google

Seil Nr. 22,

Litze mit 6 gelötheten Drähten; der als Seele benutzte Draht ungelöthet; 6 Löthstellen in je 1000 mm Entfernung.

Konstruktion: 6 Drähte mit 1 Draht als Seele.

Durchmesser D = 7,8 mm; daraus Litzenquerschnitt F = 47,8 qmm; mittlerer Drahtdurchmesser d = 2,6 mm; Gesammt-Drahtquerschnitt f = 37,2 qmm; Querschnittsverhältniß f/F = 0,78; Gewicht für 1 m, g = 0,30 kg.

Ganze Litzenlänge 9,00 m; freie Länge 8,79 m.

Belastung in Tonnen	Dehnungen an den Meßstellen: App. V $l = 200$ gemessen über n Löthstellen, n = 6, % von 1	I $L = 500$, n = 1, Verhältnißzahlen (V = 100)	II $l_1 = 500$, n = 1, Verhältnißzahlen (V = 100)	III $l_1 = 500$, n = 1, Verhältnißzahlen (V = 100)	Dehnungen an Meßstelle V: Unterschied für je 1 Tonne Belastung	Bleibende Dehnung nach Entlastung auf 1 Tonne	Elastische Dehnung für Stufe 1 bis x Tonnen	Bemerkungen über den Verlauf des Versuches
0,5	0,000	—	—	—				
0,75	9	222	222	222	0,009			
1,00	16	250	250	375	7			
1,25	40	200	200	200	24			
1,50	79	152	152	152	39			
Mittel		206,0	206,0	237,3				
0,5	0,003	(167)	(167)	(167)		0,003		
1,50	79	152	152	152			0,076	
1,75	125	120	120	128	46			
2,00	153	131	131	131	28			
2,25	208	111	111	125	55			
2,50	250	120	120	128	42			
Mittel		126,8	126,8	132,8				
0,5	−0,009	(222)	(0)	(222)		−0,009		
2,50	246	114	114	130				
2,75	296	115	115	122	50			
3,00	359	111	111	123	63			
3,25	436	115	115	119	77			Leises Knistern, deshalb schon jetzt entlastet.
Mittel		113,8	113,8	123,5				
0,5	0,013	(455)	(455)	(550)		0,013		
3,25	440	114	118	123			0,027	
4,25	Bruch							Zuerst riß ein Draht neben der Löthstelle, danach trug die Litze nur noch 3,25 t und riß an der Einspannung bei 3,75 t. Der zuerst gerissene Draht ist an der Hauptbruchstelle der Litze zum zweiten Mal infolge von Torsionsbeanspruchung gerissen, nachdem sich das Ende um 40 cm herausgezogen hatte; hierbei muß der Draht um etwa 4 Umdrehungen verwunden worden sein.
Mittel		114,0	118,0	123,0				
Gesammtmittel		140,2	141,2	154,2				

Digitized by Google

Gegenüberstellung der bei dem abgekürzten Verfahren gewonnenen Versuchsergebnisse. Tabelle 5.

Alle Seile sind gleicher Konstruktion und aus den gleichen Drähten hergestellt: 6 Litzen mit je 6 Drähten, Hauptlitzenseele und Hanfeinlage in den Litzen.
Aus allen Versuchen: mittleres Gewicht für 1 m, g = 1,65 kg; mittlerer Seilumfang U = 71,7 mm; mittlerer Durchmesser D = 22,8 mm; mittlerer Seilquerschnitt F = 408,7 qmm; mittlerer Gesammt-Drahtquerschnitt f = 180 qmm; mittleres Querschnittsverhältniß f/F = 0,44; mittlere Drahtfestigkeit nach Tabelle 1 = 692,5 kg.

Seil Nr.	Angaben über die Art der Löthung	Dehnungen in 0,001 % der Meßlänge 1 gemessen mit Apparat V für die Belastungen in Tonnen																	Bruch- last t	Dehnung 0,001 %	Gesammtmittel der Verhältnißzahlen bezogen auf App. V. (Vergl. Tabelle 2)			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			I	II	III	IV
3	Ohne Löthstellen	0	62	116	169	221	281	339	400	468	547	626	710	815	925	1054	1201	1386	1646	21	3 158	85,7	—	—	—
4	. . . do.	0	85	138	190	241	296	350	408	468	545	620	710	810	910	1025	1152	1313	1521	21	2 557	96,2	—	—	—
	a Mittel	0	74	127	180	231	289	345	404	468	546	623	710	813	918	1040	1177	1350	1584	21	2 858	91,0	—	—	—
12	1 Löthstelle	0	53	100	143	190	243	300	362	420	496	567	648	728	818	928	1015	1123	1270	21	—	91,8	98,4	100,8	—
13	. . . do.	0	65	118	164	212	260	310	368	425	480	540	614	710	787	872	998	1104	1250	21	—	93,0	89,7	90,2	—
	b Mittel	0	59	109	154	201	252	305	365	423	488	554	631	719	803	900	1007	1114	1260	21	—	92,4	94,1	95,5	—
	b bezogen auf a = 100 . . .	0	80	86	86	87	87	88	90	90	89	89	89	88	87	87	86	83	79	100	—	102	—	—	—
8	2 Löthstellen in 460 mm Entfernung	0	53	106	153	200	260	309	360	413	492	550	612	691	760	856	960	1075	1226	21	—	86,9	100,0	95,1	98,0
9	. . . . . do.	0	63	120	176	233	290	344	401	464	525	592	648	732	814	914	1045	1186	1360	21	—	91,3	99,1	99,7	100,1
	c Mittel	0	58	113	165	217	275	327	381	439	509	571	630	710	787	885	1003	1131	1293	21	—	89,1	100,0	97,4	99,1
	c bezogen auf a = 100 . . .	0	78	89	92	94	95	95	94	94	93	92	89	87	86	85	85	84	82	100	—	98	—	—	—
16	3 Löthstellen in je 500 mm Entfernung	0	75	158	230	295	381	451	488	541	604	660	725	811	907	1011	1150	1282	1459	22	—	95,4	91,0	100,1	105,0
17	. . . . . do.	0	33	85	143	199	260	305	378	417	480	542	609	700	794	900	1032	1175	1396	20	—	97,8	111,0	95,2	103,3
	d Mittel	0	54	122	187	247	321	368	433	479	542	601	667	756	851	956	1091	1229	1428	21	—	96,6	101,0	97,7	104,2
	d bezogen auf a = 100 . . .	0	73	96	104	107	111	107	104	102	99	97	94	93	93	92	93	91	90	100	—	107	—	—	—
18	1 Löthstelle mit 36 gelötheten Drähten	0	80	148	215	280	348	425	520	606	730	813	913	1100	—	—	—	—	—	—	—	78,3	87,0	100,0	—
19	. . . . . do.	0	68	141	217	278	348	402	472	540	637	713	815	—	—	—	—	—	—	—	—	91,7	99,1	99,9	—
	e Mittel	0	74	145	216	279	348	414	496	573	684	763	864	—	—	—	—	—	—	—	—	85,0	93,1	100,4	—
	e bezogen auf a = 100 . . .	0	100	114	120	120	120	120	123	122	125	122	122	—	—	—	—	—	—	—	—	93	—	—	—

Seil Nr.	Angaben über die Art der Löthung	Dehnungsunterschiede für je 1 Tonne Belastungszuwachs in 0,001 % von L, gemessen mit Apparat V																	Bleibende Dehnung in 0,001 % von L nach der Entlastung von						Elastische Dehnung in 0,001 % von L für Stufe 1 bis x Tonnen				
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	5	9	12	15	18	5	9	12	15	18
3	Ohne Löthstellen	62	54	53	52	55	58	61	68	74	79	84	95	110	129	155	185	260	—	17	51	174	384	873	243	422	546	682	—
4	. . . do.	85	53	52	51	49	54	58	60	67	75	90	92	100	115	117	161	208	—	14	57	171	360	745	261	421	547	675	—
	a Mittel	74	54	53	52	52	56	60	64	71	77	87	94	105	122	136	173	234	—	16	54	173	372	809	252	422	547	679	—
12	1 Löthstelle	53	47	48	47	46	57	62	68	61	71	81	70	90	110	65	108	147	—	10	58	168	340	—	210	377	490	610	—
13	. . . do.	65	53	46	48	48	50	58	57	55	72	90	74	80	77	85	108	106	146	—	30	50	119	295	545	212	388	511	595	735
	b Mittel	59	50	47	48	47	54	60	63	58	72	86	72	85	94	75	108	127	—	20	54	144	318	545	226	383	501	603	(735)
	b bezogen auf a = 100 . . .	80	93	85	92	90	96	100	91	73	86	90	80	81	77	55	62	61	125	100	89	83	85	67	90	91	92	89	—
8	2 Löthstellen in 460 mm Entfernung	53	53	47	47	46	49	51	53	61	58	62	65	69	96	87	115	151	—	10	51	140	268	516	224	380	486	605	729
9	. . . . . do.	63	57	56	57	52	54	57	63	61	67	56	83	82	100	112	141	174	—	5	57	168	271	573	243	407	541	662	—
	c Mittel	58	55	52	52	49	52	54	58	61	63	59	74	76	98	100	128	163	—	8	54	154	270	545	234	394	514	634	(729)
	c bezogen auf a = 100 . . .	78	102	98	100	94	93	90	91	86	82	68	79	72	80	73	74	70	50	100	72	73	67	93	93	93	94	93	—
16	3 Löthstellen in je 500 mm Entfernung	75	83	72	65	62	50	52	58	61	56	65	72	90	104	99	132	177	—	51	157	212	401	680	268	406	527	650	820
17	. . . . . do.	33	50	58	56	56	45	53	59	58	62	67	75	94	106	107	143	221	—	5	61	130	302	667	200	361	486	623	750
	d Mittel	54	67	65	61	59	53	53	59	60	59	66	74	95	105	103	138	199	—	23	99	176	352	679	239	384	507	637	785
	d bezogen auf a = 100 . . .	73	124	123	117	113	95	88	92	85	77	76	79	90	86	82	80	85	144	183	102	95	84	95	95	91	93	94	—
18	1 Löthstelle mit 36 gelötheten Drähten	80	68	67	65	60	77	95	86	85	83	100	108	—	—	—	—	—	—	7	168	350	—	—	281	477	582	—	—
19	. . . . . do.	68	73	76	61	65	54	70	68	82	76	102	—	—	—	—	—	—	—	20	122	282	—	—	263	433	568	—	—
	e Mittel	74	71	72	63	63	66	83	77	84	80	101	(108)	—	—	—	—	—	—	14	145	316	—	—	272	455	575	—	—
	e bezogen auf a = 100 . . .	100	131	136	121	121	118	138	120	118	104	116	179)	—	—	—	—	—	—	88	268	183	—	—	108	108	105	—	—

Digitized by Google

Alle Seile mit gleicher Konstruktion und aus den gleichen Drähten hergestellt; n Litzen mit je 6 Drähten, Schlagverhältnis und Schlaglänge ist den Litzen gleich. Seildurchmesser d = 20,0 mm, Seilquerschnitt f = 209 qmm, $\frac{d}{n}$ = 1,666 kg; mittlerer Seilumfang U = 71,5 mm; mittlerer Durchmesser D = 22,0 mm; mittlerer Seilquerschnitt F = 207,3 qmm; mittlerer Drahtdicke d = 2,00 mm; mittlerer Drahtquerschnitt f = 3,09 qmm; mittleres Gewicht G = 1,666 kg; mittlerer Seilumfang U = 71,5 mm; mittlerer Durchmesser D = 22,0 mm; mittlerer Seilquerschnitt F = 207,3 qmm; mittlere Drahtdicke d = 2,00 mm; mittlerer Drahtquerschnitt f = 3,09 qmm; mittleres Gewicht $\frac{G}{F}$ = 0,437; mittlere Drahtfestigkeit (nach Tabelle 1) P = 6825 kg; mittlere Bruchspannung der Drähte $\frac{P}{f}$ = 2210 kg/qmm.

Seil Nr.	Angaben über die Zahl der Löthstellen	Dehnungen in 0,001% der Meßlänge 1 gemessen mit Apparat V für die jeweilig erstmalige Belastung in Tonnen																Bruch- last t	Bruch- Deh- nung 0,001%	Gesammtmittel der Verhältnißzahlen bezogen auf App. V. (Vergl. Tabelle 2)			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			I	II	III	IV
1 u. 2	Ohne Löthstellen a) ausführlich	0	60	129	191	253	318	374	436	504	588	660	742	820	920	1030	1170	1334	1543	21	—	95,4	94,4	85,5	—
3 u. 4	. . . do. . . . b) abgekürzt .	0	74	127	180	231	289	315	404	468	546	623	710	813	918	1040	1177	1350	1584	21	287,8	91,0	—	—	—
	Mittel $\frac{a+b}{2}$	0	67	128	186	242	304	360	420	486	567	642	726	821	919	1035	1174	1342	1564	21	—	93,2	—	—	—
10 u. 11	1 Löthstelle a) ausführlich. . .	0	59	114	162	217	272	325	380	438	499	565	643	718	(740)	(830)	(912)	(1018)	(1116)	21	—	85,9	101,4	98,5	—
12 u. 13	. . do. . . . b) abgekürzt . . .	0	59	109	154	201	252	305	365	423	488	554	631	719	(803)	(900)	(1007)	1114	1260	21	—	92,4	94,1	95,5	—
	Mittel $\frac{a+b}{2}$	0	59	117	158	209	262	315	373	431	494	560	637	719	(772)	(865)	(960)	(1066)	(1188)	21	—	89,2	97,8	97,0	—
	Verhältnißzahl (ohne Löthst. = 100)		88	91	85	87	86	88	89	89	87	87	88	88	(84)	(84)	(82)	(79)	(76)	100	—	—	—	—	—
6 u. 7	2 Löthstellen a) ausführlich . .	0	58	116	171	227	284	344	400	462	536	603	673	765	856	951	1068	1187	1358	21	—	88,4	86,7	83,6	84,7
8 u. 9	. . do. . . . b) abgekürzt . . .	0	58	113	165	217	275	327	381	439	509	571	630	710	787	885	1003	1131	1293	21	—	89,1	100,0	97,4	99,1
	Mittel $\frac{a+b}{2}$	0	58	115	168	222	280	336	391	451	523	587	652	738	822	918	1036	1159	1326	21	—	88,8	93,4	90,5	91,9
			87	90	90	92	92	93	93	93	92	91	90	90	89	88	86	85	85	100	—	—	—	—	—
14 u. 15	3 Löthstellen a) ausführlich . .	0	74	131	188	244	302	359	417	482	550	615	695	807	891	998	1126	1259	1447	21	—	94,1	98,7	95,4	96,0
16 u. 17	. . do. . . . b) abgekürzt . . .	0	54	122	187	247	321	368	421	479	542	601	667	756	851	956	1091	1229	1428	21	—	96,6	101,0	97,7	104,2
	Mittel $\frac{a+b}{2}$	0	64	127	158	246	312	364	419	481	546	608	681	782	871	978	1104	1244	1438	21	—	95,4	99,9	96,6	100,1
			96	99	101	102	103	101	100	99	96	95	94	95	95	95	94	93	92	100	—	—	—	—	—
18 u. 19	1 Löthstelle, alle Drähte gelöthet	0	74	145	216	279	348	414	496	573	684	763	864	—	—	—	—	—	—	14	—	85,0	93,1	100,4	—
			111	113	116	116	114	115	118	118	121	120	119	—	—	—	—	—	—	67	—	—	—	—	—

Seil Nr.	Angaben über die Zahl der Löthstellen	Dehnungsunterschiede für je 1 t Belastungszuwachs in 0,001% von L. gemessen mit Apparat V (jeweilige erstmalige Belastung)																Bleibende Dehnung in 0,001% nach der Entlastung von						Mittlerer Dehnungsunterschied für die Belastungswechsel zwischen Tonnen				Belastungsfolgen (zwischen 1 und nachstehender Belastung)				Hauptmittel
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		5	9	12	15	18		4	8	11	14	17	0,001%	5	9	12	15	18	0,001%
1 u. 2	Ohne Löthstellen a) ausführlich	60	69	63	62	51	61	62	69	62	72	82	69	91	111	102	165	200		36	174	285	461	856		37	85	53	38	37		35,8	47	44	43	44	43,9
3 u. 4	. . . do. . . . b) abgekürzt .	74	54	53	52	52	56	60	64	71	77	87	94	105	122	126	173	234		16	54	173	372	809													
	Mittel $\frac{a+b}{2}$	67	62	58	57	52	59	61	67	67	75	85	82	98	117	114	169	222		10	114	229	417	833													
10 u. 11	1 Löthstelle a) ausführlich. . .	59	55	49	55	48	54	55	59	53	66	78	61	(70)	(90)	(65)	(106)	(98)		50	121	213	(306)	(399)		33	31	33	(32)	(29)		31,6	44	11	41	(39)	(39)	41,6
12 u. 13	. . do. . . . b) abgekürzt . . .	59	50	45	48	47	54	60	58	52	66	78	75	84	98	87	107	147		20	54	144	318	545													
	Mittel $\frac{a+b}{2}$	59	53	47	52	48	54	58	59	53	66	78	68	(77)	(94)	(76)	(107)	(123)		15	88	174	(312)	(423)													
	Verhältnißzahl (ohne Löthst. = 100)	88	85	81	91	92	92	95	88	79	88	92	83	(79)	(89)	(67)	(63)	(55)		—	77	76	(75)	(51)								88					95
6 u. 7	2 Löthstellen a) ausführlich .	58	58	55	56	49	60	57	62	55	67	70	73	91	95	85	120	171		59	149	234	488	685		35	35	33	32	33		33,3	44	43	42	42	42,5
8 u. 9	. . do. . . . b) abgekürzt . . .	58	55	52	52	49	52	54	58	61	63	59	74	76	98	100	128	163		—	8	54	124	270	545												
	Mittel $\frac{a+b}{2}$	58	57	54	54	49	56	56	60	58	65	65	74	84	97	93	124	167		26	102	179	379	615													
		87	92	93	95	94	95	92	90	87	87	76	90	91	83	82	73	75	—	89	78	91	74								93					96
14 u. 15	3 Löthstellen a) ausführlich .	74	58	57	56	52	58	58	65	58	65	80	73	84	108	98	134	188		65	150	256	442	788		35	35	34	32	36		33,6	47	43	44	42	43,3
16 u. 17	. . do. . . . b) abgekürzt . . .	54	67	65	61	59	53	53	59	60	59	66	74	95	105	103	138	199		23	99	176	352	679													
	Mittel $\frac{a+b}{2}$	64	63	61	59	56	56	56	62	59	62	73	74	90	107	101	136	194		44	175	216	397	734													
		96	102	105	104	108	95	92	93	88	83	86	90	92	92	89	80	87	—	154	94	95	88								95					99
18 u. 19	1 Löthstelle, alle Drähte gelöthet	74	71	72	63	63	66	83	77	84	80	101	168	—	—	—	—	—		14	145	316	—	—													
		111	115	124	111	121	112	136	115	125	107	119	205	—	—	—	—	—	—	127	138	—	—													

Digitized by Google

Tabelle 7. **Wirkung der mehrfach wiederholten**

Belastungen t	A. Dehnungen in 0,001 % von l																					
	ohne Löthstellen											mit einer Löthstelle										
	Seil Nr. 1					Seil Nr. 2						Seil Nr. 10						Seil Nr. 11					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0
2	79		50	50	50	40	49	46	47	46	48	72	56	52	52			45	45	45	50	50	51
3	157		94	96	97	100	96	90	88	90	91	130	106	94	95			97	86	87	92	92	91
4	223		134	140	140	159	141	135	131	131	130	182	146	137	136			142	126	125	131	129	129
5	288		177	181	181	218	187	177	172	175	170	235	186	179	177			198	162	161	168	167	166
6	340	nicht bestimmt	220	221	226	272		222	217	219	212	285		222	218	nicht bestimmt	nicht bestimmt	244		199	204	207	201
7	401		261	260	269	332		265	260	259	253	337		259	260			299		257	243	240	241
8	463		304	303	309	393		309	302	302	294	392		302	297			353		272	277	276	271
9	530		351	346	350	463		353	344	344	338	463		337	337			409		314	314	312	309
10	587			386	392	529			391	385	380	515			377			452			354	346	343
11	655			431	431	605			431	428	419	584			417			515			390	382	381
12	736			477	470	688			475	472	460	663			460			592			427	423	416
13	792				512	769				516	506	730						647				454	451
14	875				553	867				562	547	—						717				493	491
15	976				601	987				613	590	—						807				541	528
16	1065					1102					635	—						872					564
17	1220					1276					690	—						978					607
18	1395					1519					750	—						1076					658
von ton	B. Bleibende Verlängerungen bei																						
5 auf 1	—					36						54						45					
9 auf 1		225					123						128						113				
12 auf 1			330					239						238						188			
15 auf 1				448					433						—						306		
18 auf 1					851					890						—						390	
Unterschiede	—	225	105	118	403	36	87	116	194	427		54	74	110	—	—	—	45	68	75	118	93	
zwischen ton	C. Bleibende Verlängerungen bei der																						
4 u. 5	10					4						5						10					
8 u. 9	24					8						12						8					
11 u. 12	33					14						23						20					
14 u. 15	42					25						—						30					
17 u. 18	64					30						—						4					
Summe	173					81						40						72					

Digitized by Google

...lastungen auf die Dehnbarkeit der Seile.

...ei Beanspruchung Nr.

mit zwei Löthstellen												mit drei Löthstellen											
Seil Nr. 6						Seil Nr. 7						Seil Nr. 14						Seil Nr. 15					
...	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	49	49	48	50	50	63	50	50	52	44	49	73	59	50	51	52	48	74	54	46	48	40	51
97	93	92	91	94	91	125	96	95	96	89	91	130	99	97	91	95	94	132	99	89	93	81	96
57	130	132	130	137	133	185	140	137	139	130	133	188	144	139	132	137	134	188	143	133	137	125	138
13	170	174	171	175	171	241	181	177	180	172	174	245	187	182	174	177	176	243	183	174	181	166	179
96		212	209	212	210	296		220	220	213	210	299		224	212	219	214	293		214	222	209	221
16		254	250	254	250	356		259	262	253	250	358		265	253	260	254	349		255	267	247	259
69		293	288	294	287	416		309	303	292	292	417		307	294	300	291	405		298	306	289	301
29		332	327	334	323	479		348	343	333	332	479		343	334	339	331	473		342	347	330	340
81			368	370	363	534			385	374	369	537			376	379	370	531			390	371	380
48			410	411	402	606			428	415	411	594			418	420	410	604			433	412	422
15			449	454	441	674			468	460	449	675			461	458	449	683			477	454	462
87				491	477	748				502	491	750				502	488	753				498	503
76				532	517	841				544	533	831				543	527	839				540	544
75				577	558	932				592	574	929				586	571	957				586	587
55					603	1022					619	1023					610	1058					631
65					645	1151					664	1161					605	1187					679
12					694	1346					721	1346					710	1377					735

...er Entlastung in 0,001 % von 1.

47						71						66						63					
	113						170						153						146				
		202						265						253						278			
			353						443						415						469		
				610						759						779						796	
47	66	89	151	257		71	99	95	178	316		66	87	100	162	361		63	83	132	191	327	

...elastungswechseln in 0,001 % von 1.

6						12						10						4					
20						23						12						9					
14						25						18						26					
14						34						30						26					
32						26						62						48					
76						120						132						113					

Digitized by Google

Tabelle 8.

Bruchlast der aus den Seilen ausgelösten Drähte.

Die Versuche sind auf der Maschine G mit verschiedenen Probenlängen ausgeführt.
Die eingeklammerten Zahlen sind von der Mittelbildung ausgeschlossen.

Art der Zurichtung und des Bruches Bemerkungen.	Draht aus Seil Nr.	Bruchlast kg	Art der Zurichtung und des Bruches Bemerkungen.	Draht aus Seil Nr.	Bruchlast kg
a) Vor dem Versuch nicht gerichtet.			**b) Vor dem Versuch mit dem Holzhammer gerichtet.**		
Beobachter: Aschner.					
(Drähte aus den bereits geprüften Seilen.)					
1. In der Einspannstelle gebrochen.	6	640	**1. In der Einspannstelle gebrochen.**	14	590
	—	630		—	590
Der Draht hatte bereits 620 kg getragen, zog sich aus der Klemme und brach später bei 550 kg.	7	(550)		17	590
	8	620		—	600
	15	650			
	—	630			
	19	620			
	—	600			
Der Draht hatte vielfach Druckstellen.	20	(420)			
	21	610			
Summe	8	5000	Summe	4	2370
Mittel		625	Mittel		593
2. In der Versuchslänge gebrochen.	7	600	**2. In der Versuchslänge gebrochen.**	8	620
	16	630		9	610
	—	620		—	600
Der Draht hatte vielfach Druckstellen.	20	(420)			
	21	640			
Summe	4	2490	Summe	3	1830
Mittel		623	Mittel		610
Gelöthete Drähte aus den Seilen 6—21.					
2 Drähte gebrochen in der Löthung bei		400			
1 " " " " " "		390			
2 " " " " " "		380			
4 " " " " " "		370			
4 " " " " " "		360			
5 " " " " " "		350			
2 " " " " " "		340			
1 " " " " " "		330			
1 " " " " " "		320			
22 Summe		7950			
Mittel		361			
Beobachter: Fellinger.					
(Drähte aus dem nicht geprüften Seil Nr. 5.)	Drahtzahl			Drahtzahl	
In der Einspannstelle gebrochen.	1	600	**In der Einspannstelle gebrochen.**	3	610
	1	590		3	600
	1	580			
	3	570			
Summe	6	3480	Summe	6	3630
Mittel		580	Mittel		605

Digitized by Google

Art der Zurichtung und des Bruches. Bemerkungen.	Draht aus Seil Nr.	Bruchlast kg	Art der Zurichtung und des Bruches. Bemerkungen.	Draht aus Seil Nr.	Bruchlast kg
a) Vor dem Versuch nicht gerichtet.			**b) Vor dem Versuch mit dem Holzhammer gerichtet.**		
Beobachter: Martens.					
(Drähte aus dem nicht geprüften Seil Nr. 5; Einspannklemmen geändert.)					
1. In der Einspannstelle gebrochen.	1	625	**1. In der Einspannstelle gebrochen.**		
	1	614			
Summe	2	1239			
Mittel		620	keine		
2. In der Versuchslänge gebrochen.	1	623	**2. In der Versuchslänge gebrochen.**	1	626
	1	614		1	618
				1	608
				1	605
				1	596
				1	593
Summe	2	1237	Summe	6	3646
Mittel		618	Mittel		608

Schlußzusammenstellung.

Mittelwerthe.					
Beobachter: A. 1 in Einspannstelle gebr.	8	625	Im Seil bereits geprüft	4	593
2. „ Versuchslänge „	4	623		3	610
„ F. 1. „ Einspannstelle „	6	580		6	605
„ M. 1. „ Einspannstelle „	2	620		keine	—
2. „ Versuchslänge „	2	618		6	608
Summe	22	13446	Summe	19	11476
Mittel		611	Mittel		604
1. In der Einspannstelle gebrochen.			**1. In der Einspannstelle gebrochen.**		
A.	8	625	A.	4	593
F.	6	580	F.	6	605
M.	2	620	M.	keine	—
Summe	16	9719	Summe	10	6000
Mittel		607	Mittel		600
2. In der Versuchslänge gebrochen.			**2. In der Versuchslänge gebrochen.**		
A.	4	623	A.	3	610
M.	2	618	M.	6	608
Summe	6	3727	Summe	9	5476
Mittel		621	Mittel		608

Digitized by Google

Einfluß der Art der Löthung auf die Drahtfestigkeit.

Tabelle 9.

Die Versuche sind auf der Maschine G mit Probenlängen von etwa 700 mm ausgeführt.

Draht Nr., Material	Bruchlasten bei der Löthweise										Bemerkungen
	(ohne) o		stumpf		$\frac{1}{d}=1$		$\frac{1}{d}=2$		$\frac{1}{d}=4$		
	kg	Bemerkungen	kg	Bemerkungen	kg	Bemerkungen	kg	Bemerkungen	kg	Bemerkungen	
23. Drähte aus den Seilen Nr. 6—21. Durchmesser 2,5 mm.	8 × 625 4 × 623 4 × 593 3 × 610										Nach den Werthen aus Tabelle 8 berechnet.
Mittel	615	—	—	—	—	—	—	—	361	Br. Lth.	
Verhältnißzahlen . .	100								59		
24. Patent-Tiegelstahl (13) Durchmesser 2,9 mm.	840	in Einspng.	150	Br. Lth.	240	Br. Lth.	270	Br. Lth.	140	Br. Lth	
	860	in Einspng.	—	Br. beim Einspannen	200	—	300	—	240	—	
Mittel	850		150		220		285		190		
Verhältnißzahlen . .	**100**		**17,6**		**25,8**		**33,6**		**22,3**		
25. Flußeisen (11) Durchmesser 2,9 mm.	510	Br. i. Einspg.	140	Br. Lth.	170	Br. Lth.	—	Br. beim Einspannen	410	Br. i. Draht*)	*) Schwache Einschnürung an den Enden der Löthung.
	510	Br. d. Draht	—	Br. beim Einspannen	—	Br. beim Einspannen	230	Br. Lth.	—	Br. beim Einspannen	
Mittel	510		140		170		230		410		
Verhältnißzahlen . .	**100**		**27,5**		**33,3**		**45,1**		**80,5**		
26. Flußeisen (10) Durchmesser 2,95 mm.	420	Br. d. Draht	—	Br. beim Einspannen	160	Br. Lth.	260	Br. Lth.	310	Br. Lth.*)	*) Drei Einschnürungen, davon eine in Löthung.
	440	—	160	Br. Lth.	220	—	250	—	310	— **)	**) Einschnürung soweit als Draht erhitzt war.
Mittel	430		160		190		255		310		
Verhältnißzahlen . .	**100**		**37,2**		**44,2**		**59,3**		**72,1**		
27. Flußeisen (6) Durchmesser 4,0 mm.	410	—	380	Br. Lth.	430	Br. Lth.	450	Br. d. Draht*)	450	Br. d. Draht	*) 20 cm.
	460	—	380	—	430	—	420	— **)	420	—	**) 35 cm vom Lth. entfernt.
Mittel	435		385		430		435		435		
Verhältnißzahlen . .	**100**		**88,5**		**99,0**		**100**		**100**		

Digitized by Google

Tabelle 10.

Gegenüberstellung der spezifischen Festigkeiten der gelötheten Drähte.

Die eingeklammerten Zahlen deuten an, daß die Drähte neben der Löthung im geglühten Theil des Drahtes gerissen sind.

Draht Nr.	Durchmesser mm	Mittlere spezifische Bruchfestigkeiten bei der Löthweise: Ohne Löthung kg/qmm	stumpf kg/qmm	$\frac{l}{d} = 1$ kg/qmm	$\frac{l}{d} = 2$ kg/qmm	$\frac{l}{d} = 4$ kg/qmm	Bemerkungen.
23	2,5		—	—	—		
24	2,9	128	22,7	33,3	43,1	28,7 *)	*) dürfte wohl schlecht gelöthet haben.
25	2,9	77	21,2	26,1	35,3	(62,0)	
26	2,95	63	23,8	27,7	37,9	45,4	
Mittel			22,6	25,7	38,8	45,4	
Wachsthum der Festigkeit der Verbindung			**1**	**1,14**	**1,72**	**2,01**	
27	4,0	34,5	30,6	34,2	(34,5)	(34,5)	
Wachsthum der Festigkeit der Verbindung			**1**	**1,12**	—	—	

Verantwortlicher Redacteur: Dr. **Hermann Wedding**. — Verlag von **Julius Springer** in Berlin.

Druck von H. S. Hermann in Berlin.

Digitized by Google

Digitized by Google

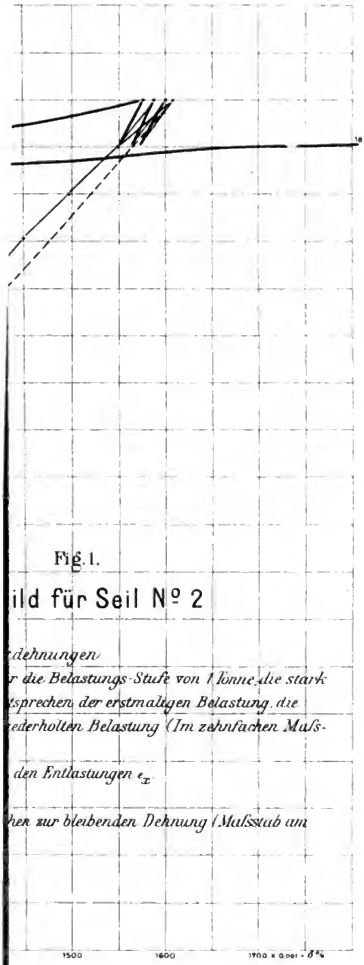


Fig. 1.

ild für Seil Nº 2

dehnungen
r die Belastungs-Stufe von 1 Tonne, die stark
sprechen, der erstmaligen Belastung, die
ederholten Belastung (Im zehnfachen Maſs-

den Entlastungen e_x

hen zur bleibenden Dehnung (Maſsstab um

1500 1600 1700 x 0.001 - δ %

Geogr. lith. Anst. u. Steindr. v. C. L. Keller in Berlin S.

Digitized by Google

Digitized by Google

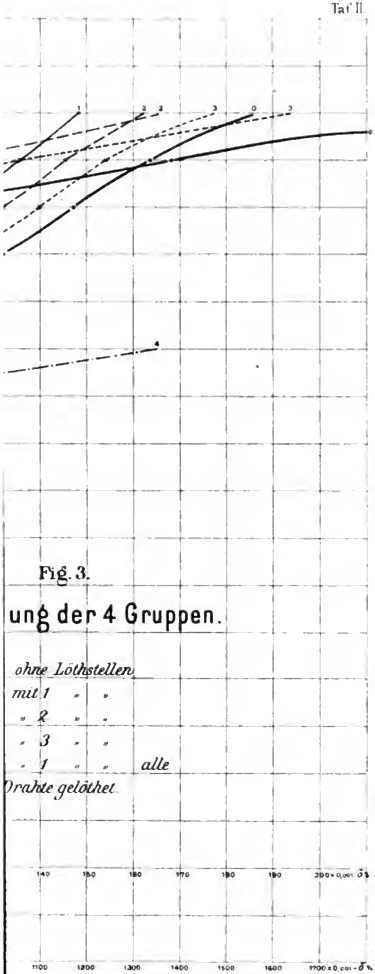


Fig. 3.

ung der 4 Gruppen.

ohne Löthstellen
mit 1 „ „
„ 2 „ „
„ 3 „ „
„ 4 „ „ alle
Drähte gelöthet

Gesgr. lith. Anst. v. Steindr. v. C. L. Keller in Berlin S.

Digitized by Google

D
A

Mittheilungen
aus den
Königlichen technischen Versuchsanstalten
zu Berlin.
Herausgegeben im Auftrage der Königlichen Aufsichts-Kommission.

Redacteur: Geheimer Bergrath Dr. **Wedding.**
Mitglied der Königl. Aufsichts-Kommission.

Ergänzungsheft III. **1888.**

Schmierölunterſuchungen

ausgeführt im Auftrage des Herrn Miniſters für Handel und Gewerbe

von

A. Martens,
Vorſteher der mechaniſch-techniſchen Verſuchsanſtalt.

Mit vier lithographirten Tafeln.

Berlin.
Verlag von Julius Springer
1888.

Digitized by Google

Digitized by Google

Durch Erlaß des Herrn Ministers für Handel und Gewerbe vom 11. Mai 1884 wurde eine Untersuchung von deutschen Rüböleu auf ihre Schmierfähigkeit und eine Vergleichung derselben mit Mineralölsorten verschiedener Herkunft angeordnet.

Bei Beginn der Versuche mit Rüböllsorten, welche vom Verbande deutscher Müller der Versuchs-Anstalt übermittelt worden waren, stellte sich jedoch die Nothwendigkeit heraus, die eigentlichen Untersuchungen bis zur Vervollständigung und Verbesserung der Hülfsmittel der Anstalt zu verschieben. Indessen konnten, den Bestimmungen entsprechend, Vorunterfuchungen mit den vorhandenen Hülfsmitteln angestellt werden, über deren Ergebnisse hier berichtet werden soll.

I. Einleitung. Aufgabe des Schmiermittels.

Es ist bekannt, daß die Schmiermittel in erster Linie zur Verminderung der Reibungsarbeit dienen sollen; bekannt ist aber auch, daß sie diese Hauptaufgabe nicht alle in gleichem Maße erfüllen und daß es eine Reihe von scheinbaren Nebeneigenschaften giebt, welche bei der Werthschätzung beachtet werden müssen.

Der Vorgang beim Schmieren würde sich etwa wie folgt schildern lassen: Zwischen zwei Flächen gleichen Abstandes, welche gegen einander gleiten können, wird ein luftförmiger, flüssiger oder pulverförmiger Körper gebracht, welcher im Stande ist, die beiden Flächen vor direkter Berührung zu schützen und dessen innere Reibung geringer ist als die Reibung bei unmittelbarer Berührung der Flächen der festen Körper.

Um diese Eigenschaften entwickeln zu können, müssen folgende Bedingungen erfüllt sein. Der innere Zusammenhalt der Schmierschicht muß ein derartiger sein, daß während der Bewegung der Flächen auch dann, wenn sich dieselben mit erheblicher Kraft zu nähern streben, stets eine so dicke Schicht des Schmiermittels erhalten bleibt, daß wirksam eine gegenseitige Berührung der beiden gleitenden Körperflächen ausgeschlossen ist. Es muß also entweder die Schicht in sich die erforderlichen Eigenschaften haben, um eine genügende Dicke bilden zu können, oder die Erhaltung der Schichtendicke muß auf künstlichem Wege besorgt werden. Damit das Schmiermittel aus sich selbst heraus eine genügende Schichtendicke bildet und dieselbe während des Schmiervorganges erhält, ist es erforderlich, daß es die beiden Flächen sehr innig berührt und fest an denselben haftet. Diese Eigenschaft haben namentlich die fetten Körper; sie dringen mit großer Begierde in die Poren fester Körper ein und sind schwer von den von ihnen benetzten Flächen zu entfernen. Bei ihnen überwiegt zugleich auch

Digitized by Google

die Anziehungskraft zwiſchen den feſten Körpern und den Flüſſigkeitstheilchen den inneren Zuſammenhalt. Dies iſt der Grund, weswegen die fetten Körper zwiſchen den Fingern das Gefühl der Schlüpfrigkeit in ſehr hohem Maße zeigen. Durch die Eigenſchaft des feſten Anhaftens an der geſchmierten Fläche iſt das Schmiermittel beſonders geeignet, die vorhandenen Rauhigkeiten, eine weſentliche Urſache der Reibung zwiſchen feſten Körpern, wirkſam auszufüllen und hierdurch die Reibung zwiſchen den gleitenden Flächen auch dann noch erheblich zu verringern, wenn die eigentliche Schmierſchicht aus irgend einer Urſache ſo ſehr an Dicke abgenommen haben ſollte, daß die Flächen ſich zu berühren beginnen.

Solange die Schichtendicke genügend groß iſt, findet bei der Bewegung der beiden Flächen gegeneinander nur ein Gleiten zwiſchen den einzelnen Flüſſigkeitstheilchen ſtatt. Die Verſchiebung der an den feſten Körpern haftenden Schicht gegen die letzteren wird verſchwindend klein ſein und der ganze zur Erſcheinung kommende Reibungswiderſtand iſt auf die innere Reibung der zum Schmieren benutzten Flüſſigkeit zu rechnen. Die Beſtimmung der Größe der inneren Reibung des Schmiermittels, ſowie die Unterſuchung aller Umſtände, welche auf dieſelbe von Einfluß ſind, iſt daher als eine der Hauptaufgaben bei der Feſtſtellung des Nutzungswerthes von Schmiermaterialien anzuſehen.

Da in der Literatur für die Bezeichnung der „inneren Reibung“ einer Flüſſigkeit häufig auch die Ausdrücke „Kohäſion“ und „Zähigkeit“ gebraucht werden und man beim Vergleich zweier Flüſſigkeiten, namentlich mit Bezug auf Waſſer als Einheit, von der „ſpezifiſchen Zähigkeit“ derſelben zu ſprechen pflegt, da ferner durch die in den praktiſchen Gebrauch eingeführten Apparate die Zähigkeit oder ſpezifiſche Zähigkeit nicht in völlig ſtrengem Sinne und unter allen Umſtänden gleichwerthig beſtimmt werden kann, ſo iſt es nothwendig, eine beſtimmte Unterſcheidung in der Ausdrucksweiſe anzuwenden. In Nachfolgendem ſollen unter Vermeidung der Bezeichnungen Kohäſion und Zähigkeit die Begriffe „innere Reibung“ und „Flüſſigkeitsgrad“ getrennt von einander gebraucht werden, und zwar wird von der inneren Reibung ſtets in dem Sinne geſprochen, daß man an eine völlig ſcharfe Beſtimmung derſelben nach dem abſoluten Maße, alſo in dem Gramm-, Centimeter- und Sekunden-Maßſyſtem denkt. Als den „Flüſſigkeitsgrad“ bezeichnet man (entſprechend der oben erwähnten „ſpezifiſchen Zähigkeit“) das Verhältniß der beiden Koeffizienten der inneren Reibung, alſo etwa „Rüböl zu Waſſer“. Mit Rückſicht darauf, daß die in der Praxis benutzten Apparate nicht immer ſtreng richtig das vorgenannte Verhältniß ergeben, dennoch aber in Folgendem auch in dieſem Falle der Ausdruck „Flüſſigkeitsgrad“ beim Vergleich zweier Flüſſigkeiten benutzt wird, iſt hier beſonders darauf aufmerkſam zu machen, daß man ſich an einen wiſſenſchaftlich beſtimmten Begriff und an den gewöhnlichen Sprachgebrauch nicht gebunden hat; um letzterem zu genügen, würde man den reziproken Werth des Verhältniſſes einzuſetzen haben.

Wie bereits geſagt und ſpäter näher zu entwickeln ſein wird, ſind die meiſten bis jetzt für die Beſtimmung des Flüſſigkeitsgrades benutzten Apparate nicht geeignet, das Verhältniß der inneren Reibungen zweier Flüſſigkeiten ſtreng zu ermitteln.

Dieſe Apparate dienen mehr den Zwecken einer praktiſchen Materialprüfung und unterſcheiden die verſchiedenen Schmiermittel nach ihrem Flüſſigkeitszuſtande. Für die richtige Erkennung des Reibungsvorganges iſt freilich die ſtrenge Beſtimmung des Koeffizienten der inneren Reibung nothwendig, und man wird deswegen bei wiſſenſchaftlichen Unterſuchungen immermehr dazu übergehen müſſen, die Apparate ſo einzurichten, daß ſie allen ſtrengen Anforderungen genügen, aber man wird hierneben die zu den Zwecken der praktiſchen Materialunterſuchung einmal eingebürgerte einfachere Beſtimmung des Flüſſigkeitsgrades ſchwerlich aufgeben wollen.

Wäre der Vorgang der Reibung in einer Schmierſchicht nicht durch die äußeren Verhältniſſe, unter denen der Verſuch vor ſich geht, beeinflußt, ſo würde man in der That mit der Feſtſtellung des Koeffizienten der inneren Reibung des Schmiermittels ausreichen, um hieraus einen Maßſtab für den Nutzwerth zu gewinnen. Als Grundlagen für die Beſtimmung der inneren Reibung dürften allgemein die Arbeiten Poi-

Digitized by Google

ſeuille's (Recherches expérimentales sur le mouvement des liquides dans les tubes de très-petit diamètres — Mémoires de divers savants. Tome IX p. 433) dienen. Für Waſſer fand Poiſeuille folgende Werthe für den Koeffizienten der inneren Reibung in Grammen für einen Quadratmeter und die Geſchwindigkeit von 1 cm in der Sekunde, bei:

0 ° C.	=	1,8142
10 ° „	=	1,3351
20 ° „	=	1,0296
30 ° „	=	0,8212
40 ° „	=	0,6718

Man erkennt aus den Zahlen das Abhängigkeitsverhältniß der inneren Reibung von der Wärme, welches bei den Schmierölen in noch weit beträchtlicherem Maße hervortritt, als beim Waſſer.

Folgt man den Vorgängen bei der gleitenden Bewegung zweier geſchmierter Flächen, ſo wird man erkennen, daß von der bewegten Fläche aus die Geſchwindigkeit zunächſt ohne Geſchwindigkeitsverluſt auf die ihr anhaftende Schicht des Schmiermittels übertragen werden muß. Die nächſtfolgende Flüſſigkeitsſchicht wird eine Beſchleunigung erfahren; ihre Geſchwindigkeit wird gegen diejenige der bewegten Körperfläche zurückſtehen. Alle folgenden Flüſſigkeitsſchichten werden ſich im Sinne der Bewegung mit immer abnehmender Geſchwindigkeit gegen die ruhende Körperfläche verſchieben, je näher ſie derſelben liegen.

Bedenkt man ferner noch, daß die Tragweite der Molekular-Anziehungskräfte zwiſchen feſten Körpern und der Schmierſchicht abhängig gedacht werden muß von der Eigenart der Körpermolekülle, ſo muß einleuchten, daß die Beſchaffenheit der beiden Reibungsflächen nicht ganz ohne Einfluß auf die Geſchwindigkeitsverhältniſſe der Schmierſchicht bleiben kann. Als Beweis hierfür kann der Quinke'ſche Verſuch über die Kapillarwirkungen zweier paralleler, nahe zuſammen geſtellter Glasplatten dienen, deren wirkende Flächen mit keilförmig auslaufenden Silberſchichten bedeckt ſind. An den dünneren Stellen der Silberſchicht muß immer mehr die Molekularwirkung des Glaſes zur Erſcheinung kommen und die Folge iſt, daß an Stelle einer wagerechten Oberfläche der gehobenen Waſſerſchicht eine gekrümmte erſcheint. Dieſe verſchiedene Tragweite der Molekularwirkung bei verſchiedenen Körpern kann an ſich ſchon mit als Urſache angegeben werden, weshalb bei vollkommener Schmierung die Art des verwendeten Lagermetalles ſelbſt dann von Einfluß auf die Reibungsvorgänge ſein muß, wenn man ſich dieſelben ganz in die Schmierſchicht verlegt denkt. Freilich dürfte die hier beſprochene Urſache kaum einen ſtarken Einfluß üben.

Das Wärmeaufnahme- und Abgabevermögen der begrenzenden feſten Körper kommt in weit höherem Maße in Betracht, wie ſpäter erläutert werden wird.

Denkt man ſich die beiden Körperflächen, zwiſchen denen die Schmiermittelſchicht ſich befindet, ohne gleitende Bewegung, aber ſo, daß ſie durch eine äußere Kraft einander genähert werden, und betrachtet man irgend einen abgegrenzten Theil der ſchmierenden Schicht, ſo wird, da das Volumen des abgegrenzten Theiles das gleiche bleiben muß, das Schmiermittel unter dem äußeren Druck in Bewegung gerathen. Dieſer Bewegung widerſteht die Schicht aus mehrfachen Gründen. Zuerſt wird eine

Digitized by Google

Verſchiebung der Flüſſigkeitstheilchen gegeneinander verurſacht, deren Geſchwindigkeit in der Mittelebene zwiſchen den beiden Körperflächen am größten iſt. Dieſer Bewegung wirkt die innere Reibung der Flüſſigkeit entgegen, welche mit der Geſchwindigkeit wächſt. Die Folge wird ſein, daß die Abnahme der Dicke der Schmierſchicht zwiſchen den beiden Körperflächen ſchließlich ſo langſam vor ſich geht, daß die Aenderung praktiſch gleich Null geſetzt werden kann. Es wird ſich alſo unter einer Belaſtung zwiſchen ebenen Flächen eine Schicht von beſtimmter Dicke bilden, die erſt in ſehr langer Zeit oder durch Veränderung des Druckes oder des Wärmezuſtandes ſich ändern wird. Die Annäherung der Flächen kann nicht bis auf den Abſtand Null fortgeführt gedacht werden, weil die unter dem Einfluß der Molekularwirkung der feſten Körper ſtehenden Schichten nur äußerſt ſchwer verdrängt werden können. Beim Schmiervorgang wird durch die bewegten Theile ſelbſt immer wieder neues Material zwiſchen die Flächen gebracht und auch hierdurch kann die Dicke der Schicht erhalten werden.

Da man in der Wirklichkeit einerſeits in Bezug auf die Auswahl der Schmiermittel beſchränkt iſt, andererſeits es aber nicht immer in der Gewalt hat, die Verhältniſſe und Abmeſſungen der Theile ſo zu wählen, daß der ſpezifiſche Flächendruck klein genug bleibt, um eine genügend dicke Schicht zu ſichern, ſo muß man oft künſtliche Mittel anwenden, um trotz des unzureichenden Schmiermittels und trotz der zu hohen Belaſtungen zum Ziele zu kommen. Ein ſolches Mittel bietet ſich, indem man die Schmiere unter hohem Druck zwiſchen die Flächen preßt (Schmierpumpen). Hierbei wird die Schmiermittelmenge, welche in der Zeiteinheit unter dem Einfluß des Flächen- (Lager-) Druckes ausfließt, durch den zugeführten Schmiermittelſtrom beſtändig erſetzt. Die Schicht erhält auch auf dieſe Weiſe eine beſtimmte Dicke.

Die zur Ueberwindung des Reibungswiderſtandes aufzuwendende Arbeit wird zum größten Theil in Wärme umgeſetzt, welche von ihrem Entſtehungsorte in der Schmiermittelſchicht durch dieſelbe zu den geſchmierten Körpern geleitet, durch die berührenden Flächen aufgenommen, durch den Körper unter Erwärmung deſſelben fortgeführt und endlich von ſeinen Oberflächen durch Berührungs- und Strahlungsübertragung an die Umgebung abgegeben wird.

Je nach dem Verhältniß der Wärmeerzeugung zum Wärmeaufnahme- und Abgabevermögen wird der Wärmegrad der Schmierſchicht im Beharrungszuſtande des Verſuches ein verſchiedener ſein. Man wird alſo beiſpielsweiſe ohne Veränderung irgend einer anderen Verſuchsbedingung nur durch Veränderung des Ausſtrahlungskoeffizienten des einen Körpers (etwa durch Anſtrich der Lagerſchalen) den Reibungskoeffizienten verändern können.

Die Erwärmung bewirkt zunächſt einen Einfluß auf die Schichtendicke; dieſelbe wird bei wachſender Wärme geringer. Ferner wird die innere Reibung des Schmiermittels verändert; auch ſie wird mit wachſender Wärme geringer. Endlich können Aenderungen im chemiſchen Zuſtande eintreten, wenn das Schmiermittel ein ſolches iſt, welches ſchon bei verhältnißmäßig niedrigen Wärmegraden, namentlich in Berührung mit den die Schmierflächen bildenden feſten Körpern, Zerſetzungen und Umwandlungen erfährt. Alle dieſe Zuſtandsänderungen haben einen Einfluß auf die Größe des Reibungskoeffizienten; ſie kommen meiſtens gleichzeitig vor und man wird bei den Verſuchen in der Praxis ſchwerlich die Einzelvorgänge ſoweit trennen können, daß man jeden für ſich feſtzuſtellen vermag.

Digitized by Google

Schmiert man ein Lager unter den gewöhnlichen Verhältniſſen bei gleichbleibender Geſchwindigkeit und Belaſtung mit einer abgemeſſenen Schmiermittelmenge (ohne alſo das Verbrauchte zu erſetzen), ſo wird Folgendes eintreten: Sofort mit Beginn der Bewegung wird Arbeit in Wärme umgewandelt; dieſe wird ſolange zur Erhöhung der Eigenwärme der Wellen- und Lagertheile verwendet, bis die Wärmeerzeugung gleich der Wärmeabgabe an die Umgebung geworden iſt. Alsdann tritt ein Beharrungszuſtand ein. Bis dahin nahm in der Regel die innere Reibung und die Schichtendicke ab, und dem entſprechend wurde der Reibungskoeffizient ein anderer, bis er im Beharrungszuſtande ebenfalls Beſtändigkeit zeigt. Bei weiterem Verlauf des Verſuches wird auch der chemiſche Zuſtand des Schmiermittels verändert und hiermit wiederum der Reibungskoeffizient, wobei der Wärmezuſtand des ganzen Apparates gleichfalls ein anderer wird. Der Beharrungszuſtand kann alſo unter dieſen Umſtänden kein beſtändiger ſein; alle gemeſſenen Größen werden einer langſamen Aenderung unterliegen, welche nach einiger Zeit ſchneller und ſchneller vor ſich geht, wenn die (nicht erneuerte oder durch Zufuhr ergänzte) Schmierölſchicht ſoweit erſchöpft wurde, daß wegen der zu geringen Schichtendicke die feſten Lagertheile in Berührung mit dem Zapfen kommen.

In Wirklichkeit wird bei der Lager-Schmierung allerdings den geſchmierten Flächen fortwährend neues Oel zugeführt, von dem ein Theil nach geſchehener Dienſtleiſtung in verändertem Zuſtande wieder abzufließen pflegt, während der andere Theil aufgezehrt, verbraucht wird. Um bei dieſem Vorgange den wirthſchaftlich günſtigſten Beharrungszuſtand herbeizuführen, muß die zugeführte Schmiermittelmenge genau den bedingenden Umſtänden angepaßt ſein.

Aus der ganzen Schilderung des Reibungsvorganges, wie ſie bisher gegeben worden iſt, geht hervor, daß ſowohl die Konſtruktion und die Art des Materiales der Maſchinentheile als auch die Natur des Schmiermittels von Bedeutung ſind für den Schmiervorgang. Beide Theile beeinfluſſen in hohem Grade die wirthſchaftlichen Leiſtungen unſerer Schmiervorrichtungen und unſerer Schmiermittel.

Wenn auch in dem gegenwärtigen Berichte dem Schmiermittel an ſich in hervorragendem Maße Aufmerkſamkeit geſchenkt werden ſoll, ſo ergiebt ſich doch, daß es ganz unmöglich iſt, die Eigenſchaften deſſelben zu unterſuchen, der wirthſchaftlichen Bedeutung nach feſtzuſtellen und zu vergleichen, ohne auch den Schmiermethoden, den benutzten Apparaten und den Prüfungsmaſchinen Raum bei der Beſprechung zu widmen.

A. Anforderungen an gute Schmiermittel.

Entwickelt man auf Grund des früher Geſagten zunächſt die Anforderungen, welchen ein gutes Schmiermittel zu genügen hat, ſo erkennt man, daß die guten techniſchen Eigenſchaften deſſelben zu ſuchen ſind:

a) in einer möglichſt geringen inneren Reibung,

b) in der Bildung einer möglichſt dicken tragfähigen Schmierſchicht,

c) in einer möglichſt langen Ausdauer, d. h. in einer möglichſt geringen Veränderlichkeit ſeines günſtigſten Zuſtandes.

Hierbei wird zunächſt abgeſehen vom Koſtenpunkt und den Eigenſchaften, welche den wirthſchaftlichen Werth herabſetzen könnten.

Digitized by Google

B. Anforderung an Lagerkonſtruktion und Schmiervorrichtung.

Die Anforderungen, welche man an eine gute Konſtruktion der zu ſchmierenden Theile und an die Schmiervorrichtung ſtellen muß, werden ſich nach dem bisher Beſprochenen zuſammenfaſſen laſſen in:

d) Sicherung einer möglichſt geringen Reibung zwiſchen den etwa ſich berührenden Flächen,

e) Sicherung der Erhaltung von Dicke und Zuſtand der Schmiermittelſchicht und im Zuſammenhang hiermit,

f) möglichſt günſtige Abführung der erzeugten Wärmemenge.

Auch hier iſt mehr die techniſche Seite der Frage ohne beſondere Rückſichtnahme auf die wirthſchaftliche in Betracht gezogen worden.

Die techniſche Werthſchätzung eines Schmieröles wird ſich auf die Ermittelung derjenigen Eigenſchaften deſſelben gründen müſſen, welche unter a bis c aufgezählt worden ſind. Die wirthſchaftliche hingegen hat ſowohl die Preisfrage bei der Beſchaffung des Materiales als auch die Koſtenfrage des dauernden Betriebes zu berückſichtigen. Im allgemeinen wird man aber den letztgenannten Punkt bei der Vergleichung vieler Schmiermittel von ſehr verſchiedener Natur wegen der mannigfachen und meiſt unüberſehbaren örtlichen Verhältniſſe außer Acht laſſen müſſen und wird bei der Beurtheilung des Nutzwerthes für den Vergleich nur den mittleren Marktpreis ſowie mittlere Betriebsverhältniſſe in Rückſicht ziehen können.

Mit Bezug auf den letzten Punkt ſei bemerkt, daß die beſonderen Verhältniſſe es beiſpielsweiſe bedingen können, daß auf den Punkt a (möglichſt geringe innere Reibung) ein größeres Gewicht gelegt werden muß, als auf den Punkt b (möglichſt tragfähige Schicht) oder umgekehrt, und ferner, daß eine lange Ausdauerfähigkeit (Punkt c) in der Regel erwünſcht iſt. Bei Uhren, Inſtrumenten, feinen ſchnelllaufenden Maſchinentheilen wird vorwiegend ein Oel mit möglichſt geringer innerer Reibung erwünſcht ſein; bei ſchwer belaſteten Maſchinentheilen wird man unter Inkaufnahme des größeren Arbeitsverluſtes ein Oel mit größerer innerer Reibung verwenden, wenn letzteres nur eine hinreichend tragfähige Schicht bildet, um mit Sicherheit das Heißlaufen zu verhüten.

II. Unterſuchungsmethoden.

A. Beſtimmung der inneren Reibung.

Die innere Reibung des Oeles kann, wie diejenige jeder anderen Flüſſigkeit, auf verſchiedene Weiſe beſtimmt werden.

Dr. Hagenbach führt in ſeiner Arbeit*) über dieſen Gegenſtand drei Methoden an (S. 388):

1. Schwingung von Platten in der Flüſſigkeit,
2. Schwingung der Flüſſigkeit in U-förmigen Röhren und
3. Ausfluß durch Röhren.

*) Hagenbach: Ueber die Beſtimmung der Zähigkeit einer Flüſſigkeit durch den Ausfluß aus Röhren. Poggendorfs Annalen 1860, S. 385.

Der letzteren Methode giebt er den Vorzug und hat dieſelbe auch bei ſeinen Unterſuchungen benutzt.

Von Jähns und von C. Schall (Berichte der Deutſch. Chem. Geſ. Band XVII S. 2555) iſt eine vierte Methode benutzt worden, bei welcher

4. die innere Reibung durch Abreißen einer Platte von beſtimmter Größe von der Oberfläche einer Schmierölmaſſe beſtimmt wird.

Am meiſten gebräuchlich iſt die dritte Methode; die vierte würde viel für ſich haben, falls es gelingt, hinreichend ſichere und einfache Apparate zu erſinnen.

Die meiſten der Apparate zur Beſtimmung der inneren Reibung, meiſtens „Zähigkeitsmeſſer" oder „Viskoſimeter" benannt, beſtehen im weſentlichen aus einem Gefäß mit unten angeſetztem verſchließbaren Ausflußrohr. Das Ganze iſt vielfach von einem zweiten Gefäß umgeben, welches als Wärmeſpeicher zur Erzielung einer beſtimmten gleichmäßigen Wärme der Schmierölmaſſe dient. Es ſind mehrere Konſtruktionen bekannt z. B. von

A. Vogel (Dingler 1863 Bd. 168 S. 267),
Coleman (Dingler 1873 Bd. 210 S. 204),
F. Fiſcher (Dingler 1880 Bd. 236 S. 495),
Lamansky (Dingler 1883 Bd 248 S. 29),
C. Engler (Chemiker Ztg. 1885 Nr. 11 und Zeitſchr. d. V. d. Ing. 1885 S. 882).
M. Albrecht (Poſt. Chem. techn. Analyſe S. 167),
Lepenau D. R. P. 23672 u. a. m.

Alle dieſe Apparate geſtatten aus den ſpäter aufzuführenden Gründen keine genügend einfache Beſtimmung des Koeffizienten der inneren Reibung, ſie werden in der Regel benutzt, um den „Zähigkeitsgrad", die „Viskoſität" oder die „ſpezifiſche Zähigkeit" zu beſtimmen, alſo das, was hier nach Früherem mit dem Namen Flüſſigkeitsgrad bezeichnet werden ſoll. Die Erfinder der neueren der genannten Apparate haben ſich zum Theil auf das Poiſeuille'ſche Geſetz berufen, welches lautet:

$$\mu_1 = \frac{\pi}{8} \frac{p\, r^4}{v\, l}\, t, \text{ worin}$$

μ_1 den Koeffizient der inneren Reibung (oder die Zähigkeit),
p den Druck für die Flächeneinheit der Ausflußöffnung,
r den Radius des Querſchnittes } des Ausflußrohres,
l die Länge }
v die in der Zeit t ausgefloſſene Flüſſigkeitsmenge bedeutet.

Die obige Formel gilt aber nur ſo lange, als das Rohr noch als kapillar aufgefaßt werden kann und das Verhältniß $\frac{1}{2}\frac{l}{r}$ einen gewiſſen Werth erreicht, der für verſchiedene r und für verſchiedene Flüſſigkeiten und Wärmegrade verſchieden iſt. Hagenbach hat in dem oben angezogenen Aufſatze die Poiſeuille'ſchen Verſuche mitgetheilt und durch theoretiſche Entwickelung den Nachweis geliefert, daß bei Nichtinnehaltung der Grenzwerthe für das Poiſeuille'ſche Geſetz der obigen Formel Berichtigungs-Glieder angehängt werden müſſen, durch welche die Formel für die Verſuchsausführung unbequem wird. Der Grund, weswegen das Poiſeuille'ſche Geſetz nur beſchränkte Gültigkeit hat, wird von Hagenbach und neuerdings auch von Petroff

Digitized by Google

darin gefunden, daß nur in ſehr engen Röhren die Bewegung der Flüſſigkeiten in der Weiſe erfolgt, daß die einzelnen konzentriſch zu denkenden Schichten mit gegen die Rohrmitte wachſender Geſchwindigkeit ſich bewegen, ohne daß ihre zylindriſche Geſtaltung durch Wirbel- oder Schwingungsbewegung eine Aenderung erfährt. Die Bahn jedes Flüſſigkeitstheilchens iſt alſo ſtreng eine gerade Linie. Unter dieſen Bedingungen läßt ſich, wie beide Autoren zeigen, das Poiſeuille'ſche Geſetz auf theoretiſchem Wege ableiten. Wegen der ſehr werthvollen Bemerkungen und der ausführlichen Vergleichung verſchiedener Verſuchsergebniſſe ſei hier ganz beſonders auf die neuere Arbeit von N. Petroff verwieſen: Neue Theorie der Reibung, überſetzt von L. Wurzel-Hamburg, Leopold Voß 1887. — Dieſes Werk dürfte für die ferneren Reibungsverſuche und ſomit auch für die Schmierölunterſuchung von grundlegender Bedeutung werden. Aus demſelben ſeien hier die Grenzwerthe $\frac{l}{2r}$ mitgetheilt, für welche das Poiſeuille'ſche Geſetz ſeine Gültigkeit verliert. Da eine ſcharfe Grenze nicht vorhanden, ſo ſind die Zahlen nur Annäherungswerthe; das Verhältniß $\frac{l}{2r}$ muß größere Werthe haben, als in der Tabelle gegeben, wenn das Geſetz gültig ſein ſoll.

mittlerer Röhrendurchmeſſer	Verhältniß $\frac{l}{2r}$
0,03 mm	70
0,04 „	80
0,09 „	120
0,11 „	270 (? Druckfehler) 170
0,14 „	180
0,65 „	310

Das in dieſen Zahlen liegende Geſetz läßt ſich aus der nebenſtehenden Fig. 1 unſchwer erkennen; man bemerkt, daß ein Ausflußrohr von 0,6 mm Durchmeſſer ſchon eine Länge von 300 . 0,6 = 180 mm haben muß, damit es für Waſſer von niedrigem Wärmegrade die Beſtimmung von μ_i aus der oben angeführten Formel geſtattet. Da aber bei allen oben angeführten Apparaten die Durchmeſſer der Ausflußröhren weſentlich

Figur 1.

größer als 0,6 mm und die Längen derſelben ſehr erheblich kleiner als 180 mm ſind, ſo iſt ohne Weiteres klar, daß die Anwendbarkeit der Poiſeuille'ſchen Formel auf alle dieſe Apparate unzuläſſig iſt. Dies iſt denn auch die Folge, weshalb man, entgegen den Vorausſetzungen mancher Autoren, mit den genannten Apparaten die „ſpezifiſche Zähigkeit" d. h. wie man meinte, das Verhältniß der inneren Reibung eines Schmiermittels

Digitized by Google

zu derjenigen des Waſſers, nicht beſtimmen kann und weshalb man mit den verſchiedenen Apparaten unter ſonſt durchaus gleichen Verhältniſſen ganz verſchiedene Werthe für die ſogenannte „ſpezifiſche Zähigkeit“ erhält. Da hiernach der mit den vorgenannten Apparaten erhaltenen ſpezifiſchen Zähigkeit kein reeller Werth beigemeſſen werden kann, die dieſen Apparaten zu Grunde liegende Methode aber für die Materialunterſuchung für die Folge noch große Bedeutung behalten dürfte, ſo ſah ich mich veranlaßt, weiter oben für das Ergebniß der Unterſuchung mit derartigen auf Empirie gegründeten Verſuchsapparaten die Bezeichnung „Flüſſigkeitsgrad“ vorzuſchlagen, um durch Vermeidung des in der Wiſſenſchaft mit der Bezeichnung „innere Reibung“ vielfach als gleichwerthig benutzten Ausdruckes „Zähigkeit“ von vornherein den Glauben zu benehmen, als könne man mit Hilfe der obigen Apparate irgend einen das Verhältniß der Koeffizienten der inneren Reibung zweier Flüſſigkeiten ausdrückenden Werth beſtimmen.

Durch Verſuche, welche im Anhange unter Anlage C Seite 66 näher beſchrieben werden ſollen, ſind übrigens in der Verſuchs-Anſtalt bei der Prüfung verſchiedener Apparate die oben angedeuteten Unzulänglichkeiten hinreichend erwieſen. Als das praktiſche Endergebniß dieſer Verſuche, durch welche man zugleich die für den Gebrauch in der Verſuchs-Anſtalt vortheilhafteſte Einrichtung der Apparate ermitteln wollte, kann der erbrachte Nachweis angeſehen werden, **daß es zur Erzielung vergleichbarer Verſuchsergebniſſe für den Flüſſigkeitsgrad nothwendig iſt, einen Apparat von ganz beſtimmter Konſtruktionsform und ganz beſtimmt gegebenen Abmeſſungen, ſowie ein in allen Einzelheiten beſtimmt vorgeſchriebenes Prüfungsverfahren einzuführen.** Um namentlich auch den Nachweis für die Nothwendigkeit eines einheitlichen Prüfungsverfahrens zu erbringen, ſei Folgendes erwähnt:

Für alle bisher namentlich aufgeführten Ausflußapparate iſt die Druckhöhe h eine veränderliche Größe, deren Einfluß nur dann klein wird, wenn die Flüſſigkeitsoberfläche bei Beginn des Verſuches und am Ende deſſelben auf eine beſtimmte Marke einſpielt. Die Ausflußmenge muß alſo beim Vergleich des Flüſſigkeitsgrades zweier Flüſſigkeiten mit Hilfe irgend eines der bekannten Ausflußapparate für beide Flüſſigkeiten annähernd die gleiche ſein.

Die Meßgefäße der meiſten der vorgenannten Zähigkeitsmeſſer ſind mit Rückſichtnahme auf eine möglichſt ſchnelle und gleichmäßige Uebertragung der Wärme des Waſſerbades auf die zu unterſuchende Flüſſigkeit Metall-Zylinder, deren Durchmeſſer in der Regel kleiner iſt als die halbe Höhe. Nur Engler hat dem Gefäße ſeines Apparates einen verhältnißmäßig großen Durchmeſſer gegeben, um den Einfluß der Benetzung der Zylinderwandungen und den Einfluß der Verſchiedenheiten im ſpezifiſchen Gewicht der Flüſſigkeiten zu vermindern. Der erſtgenannte Einfluß muß ſich namentlich bei ſehr zähflüſſigen Oelen wegen der größeren Dicke der an den Wänden anhaftenden Schicht in der Weiſe geltend machen, daß der Verſuch gewiſſermaßen ſo verläuft, als ob für die Beſtimmung des am wenigſten zähflüſſigen Körpers (Waſſer) ein weiteres Gefäß und für diejenige des zähflüſſigſten ein engeres bei gleicher urſprünglicher Druckhöhe benutzt worden wäre. Dem entſprechend würde die Wirkung die ſein, daß der Ausfluß für Waſſer in den einzelnen Zeitabſchnitten des Verſuches unter vergleichsweiſe größeren Druckhöhen ſtattgefunden hat als derjenige des zu unterſuchenden Oeles.

Digitized by Google

Hierdurch muß ein Vergleichsfehler entſtehen, wenn auch deſſen Größe verſchwindend klein ſein dürfte. Engler, Fiſcher und Lamansky legen ihren Rechnungen die von Poiſeuille aufgeſtellte Formel zu Grunde und ziehen bei derſelben das verſchiedene ſpezifiſche Gewicht der unterſuchten Flüſſigkeit nicht in Betracht, da ſie für die Verſuche eine jedesmalige Ermittelung oder Inrechnungſtellung des Druckes p nicht vornehmen, vielmehr lediglich darauf halten, daß die urſprüngliche Druckhöhe ſtets die gleiche bleibe. Will man die Fehler vermeiden, welche infolge dieſer Vernachläſſigung entſtehen würden, ſo würde man die Poiſeuille'ſche Formel in folgender Geſtalt zu benutzen haben:

$\mu_1 = \alpha \frac{s}{v}$, worin

μ_1 und v die gleiche Bedeutung wie früher haben,
α die Konſtante des Apparates und
s das ſpezifiſche Gewicht der unterſuchten, alſo zugleich der Druckflüſſigkeit iſt;
s und v ſind ſelbſtverſtändlich für jenen Wärmegrad feſtzuſtellen, für welchen μ_1 beſtimmt werden ſoll.

Nimmt man Waſſer von 4° C. als Einheit an, ſo würde man die ſpezifiſche innere Reibung einer zweiten Flüſſigkeit von irgend einem Wärmegrade t ausdrücken können durch:

$$\frac{1}{\mu_1^1} = \frac{v^1 \cdot s}{v \cdot s^1} \quad \text{oder} \quad \mu_1 = s^1 \frac{v}{v^1}$$

Will man die Rauminhaltsmeſſung vermeiden und die Ausflußmengen durch Gewicht feſtſtellen, ſo würde die letztere Formel lauten:

$$\mu_1 = s^{1'} \frac{g}{g^1}$$

Bei Anwendung dieſer Berechnungsweiſe würde der zweite von Engler für ſein weites Gefäß geltend gemachte Vorzug in Wegfall kommen und man würde für die Anwendung eines engeren Gefäßes den Vorzug in Anſpruch nehmen können, daß der Einſtellungsfehler auf die Anfangsmarke ein geringerer iſt als bei dem weiten Gefäß. Es muß übrigens bemerkt werden, daß die Berückſichtigung des ſpezifiſchen Gewichtes für die praktiſche Schmierölunterſuchung als völlig gegenſtandslos zu erachten iſt, da nachgewieſen wurde, daß den genannten Apparaten das Poiſeuille'ſche Geſetz überhaupt gar nicht zu Grunde gelegt werden darf. Wenn man ſich auf die Anwendung einheitlicher empiriſcher Methoden vereinigt, ſo kann die Rückſichtnahme auf das ſpezifiſche Gewicht erſt recht unterbleiben.

Bezüglich der Beſtimmung der Anfangsdruckhöhe ſcheint bei den einzelnen Forſchern keine völlige Uebereinſtimmung zu herrſchen, wenigſtens geht aus den meiſten Beſchreibungen nicht klar hervor, in welchem Zuſtande des Apparates, beziehentlich in welchem Zeitpunkte die Einſtellung auf die Marke für den Flüſſigkeitsſpiegel vorgenommen wird. Da zweifellos eine Fehlerquelle entſteht, wenn der eine bei ſeinen Verſuchen in höheren Wärmegraden die Einſtellung bei der gewöhnlichen Zimmerwärme vornimmt und erſt dann die Erwärmung eintreten läßt, während der andere erſt erwärmt und nun die Einſtellung vornimmt, ſo iſt zu wünſchen, daß dieſer Punkt klargeſtellt wird. Bei den ſpäter mitgetheilten Verſuchen in der Verſuchs-Anſtalt geſchah die Einſtellung ſtets unmittelbar vor Beginn des Ausfließens.

Digitized by Google

Bei den beiden Apparaten von Coleman und Lepenau kann die Ausflußöffnung durch einen Hahn verſchloſſen werden; bei beiden Apparaten liegen die Ausflußröhren außerhalb des Wärmeſpeichers. Der Apparat von Coleman (die älteſte Vorrichtung mit Wärmeſpeicher) iſt aus dieſem Grunde zur Zeit nicht mehr brauchbar. Der neuere Apparat von Lepenau ſucht die Meßbarkeit des Wärmezuſtandes in der Ausflußröhre durch ein Thermometer zu erreichen, welches vom ausfließenden Strahl umſpült wird. Der Apparat iſt jedoch ſo komplizirt, daß er bei dem Vorhandenſein einfacherer und weit einwandfreierer älterer Formen hier nicht weiter in Betracht kommen kann. Bei den übrigen Apparaten iſt die Bedingung, daß die Wärme des Ausflußröhrchens gleich derjenigen der zu unterſuchenden Flüſſigkeit iſt, dadurch gewahrt worden, daß das Metallröhrchen innerhalb des wärmenden Bades liegt.

Bezüglich der Form der Röhrchen, ihrer Weite und Länge, ſowie bezüglich des Verſchluſſes der Ausflußöffnung weichen die einzelnen Apparate ſehr weſentlich von einander ab. Lamansky wendet ein Rohr von 1 mm Durchmeſſer (ohne Längenangabe) und Fiſcher 1,2 mm bei 5 mm Länge an. Engler nimmt den Durchmeſſer = 3 mm und die Länge = 20 mm und begründet dieſe Annahme damit, daß bei den engen Röhren die Prüfung eines dickflüſſigen Oeles mehrere Stunden beanſpruchen würde. Die Form der Ausflußröhren iſt im allgemeinen eine zylindriſche. Streng an dieſe Form halten ſich Engler und Lamansky, bei deren Apparat das Röhrchen beiderſeits in ſenkrecht zur Rohraxe ſtehende Flächen ausmündet. Die Ein- und Ausmündung iſt beim Apparat von Fiſcher kegelförmig. Der obere kegelförmige Uebergang dient zur Aufnahme des Abſchlußventils. Engler ſieht in dieſer koniſchen Abflußöffnung eine Fehlerquelle. Es kann nicht beſtritten werden, daß die Form der Einmündungs- und Ausflußöffnungen von (wenn auch nur geringem) Einfluß auf das Ergebniß ſein werden.

Der Abſchluß des Ausflußröhrchens geſchieht bei dem Lamansky'ſchen Apparat durch eine Drehſcheibe, in welcher eine Oeffnung angebracht iſt, welche zu Beginn des Verſuches unter die Oeffnung des Röhrchens gedreht wird. Dieſe Oeffnung bildet gewiſſermaßen eine Erweiterung des Röhrchens, welche ähnlich wirken wird, wie die koniſche Ausflußmündung des Fiſcher'ſchen Apparates. Von Engler wird dem Lamansky'ſchen Verſchluß mit Recht vorgeworfen, daß die Reinigung ſchwierig ſei. Bei den Apparaten von Fiſcher und Engler geſchieht der Abſchluß des Röhrchens an der oberen Einmündung durch ein Ventil, deſſen Stange bei dem Fiſcher'ſchen Apparat aus dem oberen Deckel hervorragt. Man kann alſo das Ventil von außen her öffnen und ſchließen, während man bei dem Engler'ſchen Apparat den Deckel abheben muß, um das Ventil bewegen zu können. Die Ventilverſchlüſſe haben unzweifelhaft größere Einfachheit für ſich; die Theile laſſen ſich leicht und vollkommen reinigen. Für den Engler'ſchen Apparat würde es zu wünſchen ſein, daß der Ventilſtift durch den Deckel hindurch geht, damit man ihn von außen abziehen kann, ohne den Deckel abheben zu müſſen.

Es iſt noch zu unterſuchen, welche Form für die untere Ausflußöffnung am zweckmäßigſten erſcheint. Würde man, wie Engler vorſchlug, das Röhrchen einfach in die untere Fläche des Apparates ausmünden laſſen, ſo würde man in den Kauf nehmen müſſen, daß die anlaufende Flüſſigkeit die untere Fläche benetzt. Hierbei würde der Abfluß des Flüſſigkeitsſtrahles nicht ſtets genau in der Mitte des Röhrchens erfolgen,

Digitized by Google

ſondern ſich je nach der Aufſtellung des Apparates mehr oder minder ſeitlich verſchieben und der Strahl würde womöglich während des Verſuches wandern und ſeine Geſtalt ändern. Hiermit würde eine Beeinfluſſung des Ergebniſſes verbunden ſein. Die ſchwach koniſche Form des Bodens vom Wärmeſpeicher des Engler'ſchen Apparates wird dieſen Fehler etwas vermindern, vorausſichtlich aber nicht beſeitigen können. Engler ſcheint denn auch ſpäter zur Vermeidung dieſer Unzuträglichkeiten angeordnet zu haben, daß der untere Rand des Röhrchens um etwa 0,5 mm aus dem Boden hervorragt. Auch Fiſcher und Lamansky ſcheinen den vorberegten Umſtand in gewiſſem Grade berückſichtigt zu haben, wenigſtens zeichnen beide bei ihren Apparaten einen kleinen vorſpringenden Rand, der eine direkt für die Ausflußmündung des Röhrchens, der andere für diejenige der Drehſcheibe.

Da ſehr geringe Veränderungen der chemiſchen Beſchaffenheit des Oeles ſchon von Einfluß auf die Ausflußgeſchwindigkeit ſein werden, ſo iſt es nothwendig, die Gefäße aus ſolchen Materialien zu machen, daß ſie vom Oel möglichſt wenig gelöſt werden. Aus dieſem Grunde würden Glasgefäße am vortheilhafteſten ſein, wenn ſie nicht wegen ihres leichten Zerſpringens u. ſ. w. unpraktiſch wären. In der Regel macht man die Gefäße aus Meſſing oder Kupfer; man ſollte ſie innen ſtark vergolden, um das Oel dem Einfluſſe des Metalles möglichſt zu entziehen. Die Ausflußröhrchen ſollten ſtets aus Platin beſtehen, ſowie möglichſt glattwandig und zylindriſch ausgeſchliffen ſein, da ſie den beſtimmenden Theil des Apparates bilden.

Der Körperinhalt der Gefäße iſt bei den einzelnen Apparaten verſchieden. Fiſcher füllt den Apparat mit 65 ccm und läßt 50 ccm ablaufen, während Lamansky 100 ccm ausfließen läßt. Engler benutzt eine Füllung von 240 ccm und arbeitet mit einer Ausflußmenge von 200 ccm. Alle Forſcher verfahren in der Weiſe, daß ſie die Zahl der Sekunden zählen, welche die oben angegebenen Mengen zum Ausfluß aus ihren Apparaten brauchen. Das Verhältniß der Ausflußzeit gegen diejenige des Waſſers nennen ſie die „ſpezifiſche Zähigkeit“ der unterſuchten Flüſſigkeit. Vogel benutzte zur Zeitbeſtimmung eine Sanduhr, die auf 30 Sekunden berichtigt war und maß die Ausflußmenge für dieſe Zeit an dem getheilten Glaszylinder ſeines Apparates.

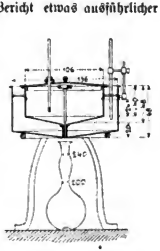
Die Art der Verſuchsausführung bietet ſicherlich eine Reihe von Fehlerquellen und man muß ſich daher überlegen, wie man die Fehler auf ein möglichſt geringes Maß zurückzuführen vermag. Arbeitet man nach der Vorſchrift von Fiſcher, Lamansky und Engler, ſo iſt zu bedenken, daß für die Zeitbeſtimmung der Anfangs- und Endpunkt des Verſuches in Frage kommen. Die Fehler der Beſtimmung ſind abhängig von den verwendeten Zeitmeſſern und von der Geſchicklichkeit des Beobachters. Da der Anfangspunkt beliebig iſt, ſo kann man bei Anwendung der gewöhnlichen Sekundenuhr das Ventil mit einem Fehler von einigen Zehntel-Sekunden in dem Augenblicke öffnen, in welchem der Zeiger eine volle Minute anzeigt. Schwierig iſt es aber jedenfalls, den Endpunkt des Verſuches genau zu beſtimmen, weil man hierbei auf drei Punkte zu achten hat, nämlich auf den Zeitpunkt, in welchem die Marke für die richtige Ausflußmenge 50, 100, 200 ccm gerade erreicht wurde, auf die zu gleicher Zeit abgelaufene Sekundenzahl und etwa auf den gleichzeitigen Schluß des Ventils. Die vorgenannten Forſcher ſagen freilich in ihren Beſchreibungen nicht, daß das Ventil, wie hier vorausgeſetzt, geſchloſſen wird. Da aber bei Beſtimmungen in höheren Wärmegraden der ausfließende Strahl eine ſtarke Abkühlung erfährt und in ein kaltes Gefäß ausſtrömt,

Digitized by Google

ſo kann ſtreng genommen der gemeſſene Rauminhalt nicht als ein richtiges Maß für die Ausflußmenge bei der Verſuchswärme erachtet werden; man muß nothwendiger Weiſe eine Umrechnung des Körperinhaltes auf dieſe Wärme oder auf den Wärmenullpunkt eintreten laſſen, wenn man genaue Zahlen erhalten will. Dies wird aber nur möglich ſein, wenn man die ausgefloſſene Menge bei einem beſtimmten Wärmegrade mißt, oder ſie durch das Gewicht feſtſtellt. In dieſem Falle würde man ſein Augenmerk auf den Schluß des Ventils und das gleichzeitige Ableſen der Sekundenuhr richten können, alſo ſicherer arbeiten. Wollte man von dem Schließen des Ventils Abſtand nehmen, ſo würde die gleichzeitige Ermittelung des Erreichens der Endmarke und der Uhrableſung Schwierigkeiten bieten, da bei beiden Beſtimmungen gleichzeitig das Auge benutzt werden muß. Das Fortnehmen des Auffangeglaſes mit Ablauf der Beobachtungszeit dürfte namentlich bei Verſuchen in höheren Wärmegraden andere Unzuträglichkeiten mit ſich bringen. Bei einem ſolchen Vorgange dürften Fehler von mehreren Zehntel-Sekunden ganz ſicher eintreten.

Die innere Reibung der Schmieröle ändert ſich mit wachſender Wärme in ſehr erheblichem Grade. Dieſe Aenderungen fallen bei den einzelnen Oelen ſehr verſchieden aus, ſo zwar, daß nach Lamansky: „Der einzige ſcharfe Unterſchied, der ſich bis jetzt bei den Unterſuchungen der phyſikaliſchen Eigenſchaften der Oele verſchiedenen Urſprunges herausgeſtellt hat, die innere Reibung (Zähigkeit) und das Verhalten derſelben zur Temperatur“ iſt. Aus den in der Einleitung entwickelten Gründen wird es einleuchten, wie ſehr wichtig es iſt, die innere Reibung, ſowie auch den Flüſſigkeitsgrad wenigſtens für alle diejenigen Wärmegrade zu beſtimmen, welche während der Schmierung vorkommen können. Lamansky ſchlägt vor, den Flüſſigkeitsgrad mindeſtens bei den Temperaturen 10°, 30° und 50° zu ermitteln, Engler will dagegen bis auf 150° gehen. Jedenfalls iſt es vorzuziehen, fünf Beſtimmungen vorzunehmen, bei welchen die Wärmegrade ſo vertheilt ſind, daß man mit einiger Zuverläſſigkeit die Zwiſchenwerthe aus der Schaulinie ermitteln kann.

Nachdem im Vorausgehenden der bereits vor längerer Friſt erſtattete Bericht etwas ausführlicher gegeben wurde, um, wie geſagt, die Nothwendigkeit einheitlicher Methoden zu erweiſen, ſollen in Nachſtehendem kurz die Gründe angeführt werden, weshalb die Verſuchs-Anſtalt dazu übergegangen iſt, ihren ferneren Prüfungen den Engler'ſchen Apparat zu Grunde zu legen. Zugleich ſollen hier die Fehlergrenzen ermittelt werden, welche dem Engler'ſchen Apparat anhaften. Endlich ſoll noch ein neuer Apparat beſprochen werden, welcher inzwiſchen auftauchte, von der Verſuchs-Anſtalt beſchafft iſt und von Bedeutung für die Materialunterſuchung werden dürfte.



Figur 2.

Nach Vorausgehendem wird man in der Folge die Feſtſtellung des Flüſſigkeitsgrades lediglich als eine Art empiriſche Materialunterſuchung zu behandeln haben. Es kann alſo nur darauf ankommen, einen Apparat von ganz beſtimmter Konſtruktion und ſtets gleichen Abmeſſungen einzuführen. Am meiſten Ausſicht für eine möglichſt allgemeine Einführung hat in letzter Zeit unzweifelhaft der Engler'ſche Apparat gewonnen, weil er von Seiten der Eiſenbahnverwaltungen als Grundlage für die tariſariſchen Beſtimmungen angenommen worden iſt, und weil er nach feſten Abmeſſungen unter Aufſicht hergeſtellt und von der Großherzoglich Badiſchen Verſuchs-Anſtalt in Karlsruhe geprüft und beglaubigt wird. Der Apparat hat die nebenſtehend in Fig. 2 dargeſtellten Einrichtungen und Abmeſſungen. Die Zeichnung wird aus dem Vorausgehenden ohne Weiteres verſtändlich ſein; es iſt nur hinzuzufügen, daß das Ausflußrohr aus Platin und das innere Gefäß ſtark vergoldet iſt. Der Apparat trägt die Nr. 212 und ſollte nach den Verſuchen in Karlsruhe für deſtillirtes Waſſer von 20° C. 200 ccm in 54 Sekunden auslaufen laſſen. Bei der Unterſuchung in der hieſigen Anſtalt wurden folgende Zahlenwerthe gefunden:

Digitized by Google

Tabelle 1.
Waſſer von 20° C. Uhr II.

Verſuch Nr.	Ausflußzeiten in Sekunden		
	Ableſung	Δ m	Δ m²
1	53,0	+ 0,14	196
2	53,2	+ 34	1156
3	52,8	— 6	36
4	52,6	— 26	676
5	52,6	— 26	676
6	52,4	— 46	2116
7	53,6	+ 74	5476
8	53,4	+ 54	2916
9	52,6	— 26	676
10	52,4	— 46	2116
Summe	528,6		1,6040
Mittel	52,86 ± 0,09 (d. i. = ± 0,17%)		

wahrſcheinlicher Fehler des Mittels $= 0{,}674 \cdot \sqrt{\frac{1{,}6040}{10 \cdot 9}} = \pm 0{,}09$ Sekunden

mittlerer Fehler einer Beſtimmung $= \sqrt{\frac{1{,}6040}{9}} = \pm 0{,}42$ Sekunden

Daß die in Karlsruhe gefundenen Werthe mit den hier ermittelten nicht übereinſtimmen, darf nicht weiter auffallen, weil der Apparat inzwiſchen vergoldet und zuvor ein vorſtehender Grad vom Rande der Ausflußöffnung entfernt worden iſt; auch kann ein geringer Unterſchied im Gange der hier und dort benutzten Uhren vorgelegen haben. Jedenfalls muß aber an dieſer Stelle auf die Nothwendigkeit einer wiederholten ſorgfältigen Prüfung und Aichung der Apparate aufmerkſam gemacht werden.

Um über die Größe der zu erwartenden Fehler ein anſchauliches Bild zu geben, ſeien hier die Ergebniſſe einiger Verſuche mitgetheilt, bei denen die Verſuchsbedingungen entſprechend geändert wurden.

Tabelle 2.
Ausflußzeiten in Sec.

Verſuch Nr.	Waſſer von 20°		Normalrüböl von 18,8° (Uhr I)				Normalöl v. 20° (Uhr II)	
	Rohr ſorgfältig gereinigt a	Rohr mit Oel benetzt b	Unter gewöhnlichen Bedingungen c	Während des Ausfließens häufig bewegt d	Gefäß ſchief aufgeſtellt e	Meßkolben hat nur ½ Min. ausgetropft f	Unter gewöhnlichen Bedingungen g	Meßkolben hat nur 1 Min. ausgetropft h
1	52,28	52,36	843,0	848,4	856,3	824,6	819,4	795,0
2	51,67	54,38	840,7	853,7	864,0	820,0	811,0	797,0
3	51,64	56,76	839,3	850,8	—	—	820,4	—
4	51,44	—	—	—	—	—	—	—
Mittel	51,76	54,50	841,00	850,97	860,15	822,30	816,93	796,0
△	—	+ 2,74	—	+ 9,70	+ 18,88	— 18,97	—	— 20,93
in %	—	+ 5,30	—	+ 1,15	+ 2,25	— 2,26	—	— 2,57

Die beiden Verſuchsreihen a und b ſind nur unter ſich vergleichbar, weil der Apparat ſpäter vergoldet und verändert wurde. Man erkennt aus Reihe b, daß eine ſorgfältige Reinigung unerläßlich iſt. Die Ausflußzeit iſt durch die an den Rohrwandungen haftende Oelſchicht erhöht; der Widerſtand ſcheint, wie aus den Zahlen in Reihe b hervorgeht, bei mehrmaliger Wiederholung beſtändig zu wachſen. Die Verſuche c—h ſind mit einem reinen Rüböl angeſtellt, welches als Normalöl für die Prüfung der Apparate und als Vergleichsgrundlage für alle ſpäteren Verſuche dienen ſoll. Man erkennt aus den Reihen d—f, daß die Flüſſigkeit während des Verſuches nicht in Bewegung ſein darf, daß der Apparat

Digitized by Google

ſehr ſorgfältig eingeſtellt ſein muß und erſieht vor allen Dingen, daß ein weſentlicher Fehler begangen wird, wenn man den Kolben vor dem Verſuch nicht gehörig austropfen läßt.

Nachdem durch die Verſuchsreihen f und h erkannt war, daß durch die Wiederbenutzung des ausgetropften Kolbens ein merklicher Fehler begangen wird, lag es nahe, den Einfluß der Austropfzeit durch den Verſuch feſtzuſtellen. Man erhielt die folgenden Werthe.

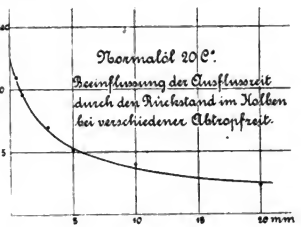
Tabelle 3.

Normalöl 20° C.

Austropfzeit	Kolbengewicht	Rückſtand (ſpec. Gew. 0,915)		Einfluß auf die Auslaufzeit (816,85)	
Min.	gr	gr	ccm	%	Sec.
leer	50,260	—	—	—	—
0,5	53,115	2,855	2,67	1,34	11,0
1	52,908	2,648	2,33	1,17	9,6
3	52,118	1,858	1,70	0,85	7,0
5	51,658	1,398	1,28	0,64	5,2
10	51,315	1,055	0,97	0,49	4,0
20	50,875	0,615	0,56	0,28	2,3

Entwirft man aus dieſen Werthen die nebengezeichnete Schaulinie Fig. 3, ſo erkennt man, daß es für genaue Verſuche nicht wohl zuläſſig ſein würde, die Kolben ohne jedesmalige vorherige Reinigung wieder zu benutzen, auch wenn man die Austropfzeit über 5 Min. bemeſſen wollte.

Eine ungenaue Beſtimmung des Wärmezuſtandes des unterſuchten Oeles würde eine erhebliche Trübung des Ergebniſſes verurſachen. Hierüber giebt Tab. 4 Aufſchluß.



Figur 3.

Tabelle 4.

Normalöl (Uhr II).

Oelwärme vor dem Verſuch $t'_1 = °$ C	Oelwärme nach dem Verſuch $t'_2 = °$ C	Oelwärme Mittel $t'_m = °$ C	Ausflußzeit $z =$ Sec.	Unterſchiede $\triangle t'_m = °$ C	Unterſchiede $\triangle z =$ Sec.	$\frac{\triangle z}{\triangle t'_m}$
16,5	17,0	16,8	939,0	—	—	—
17,3	17,5	17,4	920,0	0,6	19,0	31,7
17,8	18,0	17,9	890,8	0,5	29,2	58,4
18,2	18,2	18,2	872,8	0,3	18,0	60,0
18,8	18,8	18,8	841,9	0,6	30,9	51,5
19,5	19,5	19,5	828,8	0,7	13,1	18,7
20,5	20,5	20,5	795,1	1,0	33,7	33,7
20,8	20,8	20,8	780,2	0,3	14,9	49,7
21,0	21,0	21,0	766,3	0,2	13,9	69,5
21,2	21,2	21,2	760,8	0,2	5,5	27,5
21,8	21,8	21,8	739,5	0,6	21,3	35,5
22,0	22,0	22,0	730,4	0,2	9,1	45,5
22,3	22,3	22,3	713,0	0,3	17,4	58,0
					Summa	539,7
					Mittel =	44,98

Digitized by Google

Da man innerhalb der Wärmegrenzen der Tabelle den Verlauf der Schaulinie für die Ausflußzeiten als geradlinig anſehen darf, ſo würde nach Maßgabe der Tab. 4 einem Fehler in der Wärmebeſtimmung von nur 0,1° C eine falſche Beſtimmung der Ausflußzeit von etwa 4,5 Sec. entſprechen. Da für 20° C die Auslaufzeit etwa 812 Sec. betragen haben würde, ſo iſt eine Genauigkeit der Zeitbeſtimmung von 0,55 % erforderlich, wenn der Fehler nicht größer werden ſoll als derjenige, welcher bei der Wärmemeſſung zu erwarten iſt. Nachſtehend ſind einige Beobachtungen mitgetheilt, welche zu verſchiedenen Zeiten mit verſchiedenen Oelen angeſtellt ſind, um einen Ueberblick über die Größe der bei den laufenden Unterſuchungen nicht zu vermeidenden Fehler zu geben.

Tabelle 5.

Verſuch Nr.	Rüböl 19,8° (Uhr II) Auslaufzeiten in Sec.			Normalöl 20,5° (Uhr I) Auslaufzeiten in Sec.			Normalöl 21,0° (Uhr I) Auslaufzeiten in Sec.		
	Ableſung	$\triangle m$	$\triangle m^2$	Ableſung	$\triangle m$	$\triangle m^2$	Ableſung	$\triangle m$	$\triangle m^2$
1	798,6	— 0,75	0,5625	793,6	— 1,50	2,2500	768,4	+ 2,05	4,2025
2	797,0	— 2,35	5 5225	795,0	— 0,10	100	764,3	— 2,05	4 2025
3	802,2	+ 2,65	7 0225	796,7	+ 1,60	2 5600			
4	799,6	+ 0,25	025						
Mittel	799,35			795,10			766,25		
	Normalöl 18,8°			Normalöl 20,0° (II)			Normalöl 20° (II)		
1	843,6	+ 2,80	4 0000	819,4	+ 2,47	6 1009	821,2	+ 4,44	19 7136
2	840,7	— 0,90	900	811,0	— 5,93	35 1649	811,8	— 4,96	24 6016
3	839,3	— 1,70	2 8900	820,4	+ 3,47	12 0409	811,0	— 5,76	33 1776
4							819,4	+ 2,64	6 9696
5							820,4	+ 3,04	13 2496
Mittel	841,00			816,93			816,76		
	Summa $\triangle m^2$ 20 1500					58 1267			106 1170
									58 1267
									20 1500
	n = 20						Summa $\triangle m^2$ =		184,3937

$$\text{mittlerer Fehler einer Beſtimmung} = \pm \sqrt{\frac{184,3937}{19}} = \pm 3,12 \text{ Sec.}$$

$$\text{wahrſcheinlicher Fehler derſelben} = \pm 0,674 \cdot 3,12 = \pm 2,10 \text{ Sec.}$$

Demnach iſt die bei der Zeitbeſtimmung angewendete Sorgfalt völlig ausreichend. Dieſe Beſtimmung geſchah mittelſt zweier Chronoskope I und II, von denen I Hundertel-Sekunden, II Fünftel-Sekunden anzeigt. Die Angaben von II reichen vollkommen aus, da aber die Chronoskope zuweilen Störungen erleiden, ſo muß man ihre Angabe öfter mit einer guten Pendeluhr vergleichen, wozu die Pendelſchläge eines lautgehenden Regulators allerorten Gelegenheit geben dürften.

Die vorangezählten Erfahrungen haben dazu geführt, für die Arbeiten mit dem Engler'ſchen Apparat Vorſchriften aufzuſtellen, welche weiter unten mitgetheilt werden, um den Intereſſenten Gelegenheit zu geben, ihre etwaigen eigenen Unterſuchungen genau in gleicher Weiſe auszuführen, wie es in der Verſuchs-Anſtalt geſchieht. Es kann nicht dringend genug empfohlen werden, die zu benutzenden Vorſichtsmaßregeln und das einzuſchlagende Prüfungsverfahren öffentlich zu beſprechen, **damit eine Einheitlichkeit der Verſuchsausführung erreicht werde** und die jetzt beſtehenden Unſicherheiten bei der Materialbeurtheilung verſchwinden.

Digitized by Google

Vorſchriften für die Beſtimmung des Flüſſigkeitsgrades mittelſt des Engler'ſchen Apparates.

1. **Wärmeregulirung.** Zur Wärmeregulirung wird ein Oelbad verwendet, welches bei den Hauptbeſtimmungen durch Zugießen warmen oder kalten Oeles thunlichſt genau auf 20° C zu erhalten iſt; die Wärme im Innenraum ſoll vor dem Verſuch bereits 3 Min. lang 20° C betragen haben. Bei Beſtimmungen in höheren Wärmegraden iſt das Oelbad ſo hoch über die beabſichtigte Verſuchswärme zu erhitzen, daß die Wärme im inneren Oelbehälter ſich während des Verſuches möglichſt wenig von dem gewünſchten Wärmegrade entfernt.

2. **Wärmemeſſung.** Das Thermometer im Oelbade verbleibt während des ganzen Verſuches im Bade; es iſt fortgeſetzt zu beobachten. Die Angaben unmittelbar vor Beginn und nach Beendigung des Verſuches ſind niederzuſchreiben. Der Wärmegrad des zu unterſuchenden Oeles wird kurz vor dem Verſuch im Oelbehälter und ſofort nach beendetem Auslaufen im Meßkolben beſtimmt. Als Bezeichnungen ſind ſtets zu benutzen und in die Protokolle einzutragen:

t = Zimmerwärme.
t'_1 u. t'_2 = Wärme des Oelbades vor und nach dem Verſuch.
t''_1 u. t''_2 = Wärme des unterſuchten Oeles vor und nach dem Verſuch.

3. **Einſtellung und Vorbereitung zum Verſuch.** Unmittelbar vor Beginn des Ausfließens iſt die Einſtellung der Oeloberfläche auf die Marken zu berichtigen. Der Kolben iſt etwas über den Wärmegrad des Oelbades vorzuwärmen und ſo unter das Ausflußrohr zu ſtellen, daß der ausfließende Strahl die Wandungen nicht berührt, damit das von den Wänden etwa nachfließende Oel die Einſtellung auf die Endmarke nicht fälſcht. Vor jeder neuen Beſtimmung ſoll der Meßkolben mit Alkohol und Aether gereinigt werden. Während des Verſuches iſt der Deckel auf den Oelbehälter zu ſetzen, um das Oel vor Abkühlung und Staub zu ſchützen. Erſchütterungen des Apparates ſind zu vermeiden. Oele, welche Bodenſatz oder mechaniſche Beimengungen enthalten, ſind vor dem Verſuch durch Filtriren oder Dekantiren zu reinigen; dieſer Umſtand iſt im Protokolle zu vermerken.

Gefäß und Ausflußrohr ſind jedesmal vor und nach der Unterſuchung eines Schmieröles ſehr ſorgfältig mit Alkohol und Aether (und Petroleum) zu reinigen, wobei ganz beſonders darauf zu achten iſt, daß in das Ausflußrohr ſich keine Staubtheilchen ſetzen; vor der Unterſuchung iſt das Gefäß mit einer Probe des zu unterſuchenden Oeles auszuſpülen. Vor Beginn eines Verſuches iſt das Ausflußrohr durch Ausfließenlaſſen einiger Tropfen zu füllen; das unten am Rohr oder am Boden des Gefäßes anhaftende Oel iſt unmittelbar vor dem Herausziehen des Verſchlußſtiftes zu entfernen.

4. **Zeitmeſſung.** Das Uhrwerk iſt zugleich mit dem Ausheben des Verſchlußſtiftes auszulöſen und zu ſtoppen, wenn der obere Rand der Oeloberfläche mit der Marke am Kolben abſchneidet. Alle Zeitangaben ſollen in Sec. geſchehen. Das benutzte Chronoskop iſt kurz zu bezeichnen und zwar durch:

I = großes Chronoskop,
II = Taſchen-Chronoskop.

Die Uhrwerke ſind von Zeit zu Zeit mit der Normaluhr zu vergleichen und die gefundenen Unterſchiede in Buch . . . . . einzutragen.

5. **Aichung des Apparates.** Die Aichung des Apparates mit deſtillirtem Waſſer von 20 C° iſt von Zeit zu Zeit zu wiederholen. Die gefundenen Werthe (mindeſtens je 10 Beſtimmungen) ſind in das Buch . . . . . einzutragen. Solange der Waſſerwerth keine Aenderungen erfährt, welche über die Fehlergrenzen hinausgehen, iſt der Aichungswerth nach jeder neuen Aichung als Mittel aus allen vorausgehenden Aichungen zu bilden.

6. **Protokolle.** Alle Ableſungen und Niederſchriften ſind in ein beſonderes Buch . . . . . nach dem gegebenen Vorbilde einzutragen. Bei den Uebertragungen in das Hauptbuch iſt Buchzeichen und Seitenzahl anzugeben.

7. Aus den Ergebniſſen der Unterſuchung in hohen Wärmegraden iſt eine Schaulinie zu entwerfen, aus welcher die Flüſſigkeitsgrade für die im Antrage vorgeſchriebenen Wärmegrade ermittelt werden. Bei den Verſuchen kommt es demnach nur auf eine ungefähre Innehaltung der vorgeſchriebenen Wärme an. Die Verſuchswärme ſoll ſich aber während des Verſuchs möglichſt wenig ändern.

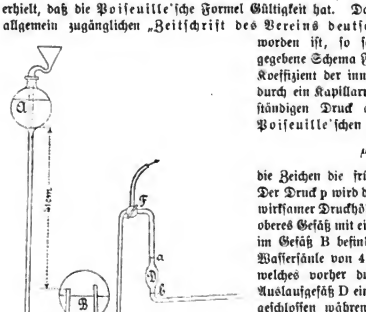
Wie bereits aus der Einleitung ſich ergeben hat und wie in neueſter Zeit beſonders durch die theoretiſchen Arbeiten von Petroff (Neue Theorie der Reibung), ſowie durch die Verſuche von

Digitized by Google

Lamansky u. A. nachgewieſen wurde, iſt die Größe des Reibungskoeffizienten bei der Schmierung in erſter Reihe von der Größe der inneren Reibung des angewendeten Schmiermittels abhängig. Es iſt deswegen in hohem Grade wünſchenswerth, den Koeffizienten der inneren Reibung in abſolutem Maße für alle jene Wärmegrade zu beſtimmen, welche bei der Verwendung des betreffenden Schmiermittels vorkommen können. Unter den bekannten Apparaten bietet hierzu der auf Grund einer Anregung von meiner Seite von Dr. Traube in Hannover konſtruirte Apparat am meiſten Ausſicht, welcher ſolche Einrichtungen und Abmeſſungen erhielt, daß die Poiſeuille'ſche Formel Gültigkeit hat. Da der Apparat und ſeine Benutzung in der allgemein zugänglichen „Zeitſchrift des Vereins deutſcher Ingenieure“ 1887 S. 851 beſchrieben worden iſt, ſo ſei hier unter Hinweis auf das nebenſtehend gegebene Schema Fig. 4 nur ganz kurz Folgendes erwähnt: Der Koeffizient der inneren Reibung wird aus der in der Zeiteinheit durch ein Kapillarrohr von hinreichender Länge unter einem beſtändigen Druck ausſtrömenden Flüſſigkeitsmenge nach der Poiſeuille'ſchen Formel

$$\mu_1 = \frac{\pi p r^4}{8 v l} t \text{ berechnet, worin}$$

die Zeichen die früher auf Seite 9 gegebene Bedeutung haben. Der Druck p wird durch das Gewicht einer Waſſerſäule von 41 cm wirkſamer Druckhöhe in dem Druckerzeuger A B hergeſtellt, deſſen oberes Gefäß mit einer Mariotte'ſchen Flaſche verſehen iſt. Die im Gefäß B befindliche Luft ſteht alſo unter dem Druck einer Waſſerſäule von 41 cm und wirkt auf das zu unterſuchende Oel, welches vorher durch Vermittelung einer Saugeflaſche in das Auslaufgefäß D eingefangt wurde (hierbei iſt ſelbſtredend Hahn E geſchloſſen während F geöffnet wird). Die Zeit, welche nothwendig iſt, um aus D die zwiſchen den Marken a b eingeſchloſſene Oelmenge, etwa 8—9 ccm, ausfließen zu laſſen, wird beobachtet. Das Gefäß D iſt von einem heizbaren Luftbade G umgeben, deſſen Wärme durch Gasflammen regulirt werden kann, um den Verſuch bei verſchiedenen Wärmegraden ausführen zu können. Das in das Gefäß B eingedrungene Waſſer muß von Zeit zu Zeit entfernt werden, damit ſtets die Waſſeroberfläche unterhalb des Einflußrohres ſteht; dies geſchieht durch das Rohr H, welches durch Hahn J geſchloſſen iſt.



Figur 4.

Traube ſchlägt vor, ſeinen Apparat nach Art des Engler'ſchen Apparates zur Beſtimmung der ſpezifiſchen inneren Reibung, von ihm „Zähigkeitsgrad“ genannt, zu benutzen, wie es bisher bei der Schmierölunterſuchung üblich geweſen iſt. Alsdann würde nach einer Aichung des Apparates mit Waſſer, wie ſie für den Engler'ſchen bereits beſprochen iſt, das Verhältniß der beiden Auslaufzeiten, nämlich derjenigen des unterſuchten Oeles bei der Verſuchswärme zu derjenigen des Waſſers bei 20° C die ſogenannte „ſpezifiſche Zähigkeit“, oder in unſerm Sinne den Flüſſigkeitsgrad ergeben. Wollte man für den Verſuch mit zähen Oelen dasſelbe Rohr anwenden, wie für den Verſuch mit Waſſer oder leichtflüſſigen Oelen, ſo würde man entweder ebenſo wie bei dem Engler'ſchen Apparat, ſeine ſtreng richtigen Werthe erhalten oder aber der Verſuch würde ſo langwierig, daß die Methode praktiſch unbrauchbar ſein würde. Um ſowohl ſtreng richtige Werthe als auch ſchnelle Ausführbarkeit des Verſuches zu erzielen, benutzt Traube folgenden ſinnreichen Kunſtgriff. Er verwendet drei Röhren A B u. C von verſchiedener Weite aber nahezu gleicher Länge; letzteres aus dem praktiſchen Grunde, um die Auslaufgefäße leicht im Luftbad unterbringen zu können. Von dieſen Röhren wird die engſte (Röhre A) für die dünnflüſſigen, die weiteſte für die zähflüſſigen Oele benutzt. Wählt man nun das Verhältniß der Länge der engſten Röhre zum Durchmeſſer $\frac{l}{2r}$ ſo, daß für Waſſer die Poiſeuille'ſche Formel noch Gültigkeit hat, und beſtimmt nun erſt die Ausflußzeit für Waſſer und dann diejenige für eine zähere Flüſſigkeit I (Glyzerinlöſung oder dünnflüſſiges Oel), ſo kann man offenbar den Waſſerwerth der zweiten, weiteren Röhre B berechnen, wenn deren Abmeſſungen $\frac{l}{2r}$ ſo gewählt werden, daß für dasſelbe bei Benutzung der zweiten Flüſſigkeit das Poiſeuille'ſche Geſetz noch ſeine Gültigkeit hat; man würde zu dem Zwecke die Auslaufzeit für die Flüſſigkeit I beſtimmen und aus dem mit Röhre B gefundenen Flüſſigkeitsgrade den Waſſerwerth für letztere berechnen, d. h. die Zeit, welche erforderlich ſein würde, um unter Vorausſetzung der Gültigkeit

Digitized by Google

des Poiſeuille'ſchen Geſetzes eine zwiſchen den Marken a u. b enthaltene Waſſermenge zum Ausfluß zu bringen. Mit Hülfe einer dritten noch zäheren Flüſſigkeit II (ſtarke Glyzerinlöſung oder dickflüſſiges Oel) kann man in gleicher Weiſe die Aichung von Röhre C vornehmen.

Mit dem Apparat der Verſuchs-Anſtalt ſind die nachſtehenden Verſuche ausgeführt:

Tabelle 6.

Rohr A. Verſuchswärme 19,1° C.*)

Verſuch Nr.	Deſtillirtes Waſſer			Glycerinlöſung I			Normalöl		
	Ausfluß-zeit	Abweichung vom Mittel		Ausfluß-zeit	Abweichung vom Mittel		Ausfluß-zeit	Abweichung vom Mittel	
	Sec.	△ Sec.	△² Sec.	Sec.	△ Sec.	△² Sec.	Sec.	△ Sec.	△² Sec.
1	44,6	— 0,18	324	335,2	— 0,13	169	4088	—	—
2	5,2	+ 42	1764	8,2	+ 2,87	82 369			
3	3,8	— 98	9604	3,0	— 2,33	54 289			
4	5,0	+ 22	484	3,6	— 1,73	29 929			
5	5,2	+ 42	1764	6,6	+ 1,27	16 129			
6	5,0	+ 22	484						
7	5,0	+ 22	484						
8	4,8	+ 2	4						
9	4,6	— 18	324						
10	4,6	— 18	324						
Summa . .	447,8		1,5560	1676,6		18,2885			
Mittel	**44,78 ± 0,089** Sec. (± 0,20%)			*335,33 ± 0,055* Sec. (± 0,20 %)			*4088* Sec.		
mittlerer Fehler einer Beſtimmung	= ± 0,416 Sec. (± 0,93 %)			± 2,14 Sec. (± 0,64 %)					

NB. Verſuch 1—6 mit Waſſer iſt am 20./9., Nr. 7—10 am 27./9. 87 ausgeführt worden.

Rohr B. Verſuchswärme 19,1° C.

Verſuch Nr.	Glyzerinlöſung I			Glyzerinlöſung II (nahezu 90 %)			Normalöl		
	Ausfluß-zeit	Abweichung vom Mittel		Ausfluß-zeit	Abweichung vom Mittel		Ausfluß-zeit	Abweichung vom Mittel	
	Sec.	△ Sec.	△² Sec.	Sec.	△ Sec.	△² Sec.	Sec.	△ Sec.	△² Sec.
1	26,6	— 0,08	64	179,8	— 3,55	126025	334,2	— 1,73	2 9929
2	6,6	— 8	64	83,2	+ 15	225	6,8	+ 87	7569
3	7,0	+ 32	1024	(69,8)†)			6,8	+ 87	7569
4	6,6	— 8	64	85,2	+ 1,85	34225			
5	6,6	— 8	64	85,2	+ 1,85	34225			
Summe . . .	133,4	—	0,1280	733,4	—	19,4700	1007,8	—	4,5067
	26,68 ± 0,171 Sec. (± 0,64 %)			183,35 ± 0,859 Sec. (± 0,47 %)			*335,93 ± 0,584* Sec. (± 0,17 %)		
mittlerer Fehler einer Beſtimmung	= ± 0,568 Sec. (± 2,13 %)			± 4,04 Sec. (± 2,21 %)			± 1,50 Sec. (± 0,45 %)		

*) Dieſe auffallende Zahl iſt dadurch entſtanden, daß das benutzte Thermometer ſpäter beim Vergleich mit dem Normalthermometer 20° ſtatt 19,1 anzeigte.

†) Dürfte wohl ein Ableſungsfehler ſein; es muß heißen 179,8 — dann erhält man *182,04 ± 0,817* Sec. (± 0,44 %) und mittleren Fehler = ± 2,72 Sec. (± 1,48 %).

Digitized by Google

Rohr C. Verſuchswärme 19,1° C.

		Glyzerinlöſung II (nahezu 90%)			Normalöl		
1		35,6	+ 0,44	1936	65,8	+ 0,07	49
2		5,1	+ 24	576	8	7	49
3		4,8	— 36	1296	6	13	169
4		4,8	— 36	1296			
5		5,2	+ 4	16			
Summe . .		175,8	—	0,5120	197,2	—	0,0267
Mittel . . .		*35,16* ± *0,011* Sec (± 0,03%)			*65,73* ± *0,045* Sec. (± 0,68%)		
mittlerer Fehler einer Beſtimmung		± 0,36 Sec (± 1,02%)			± 0,12 Sec. (± 0,18%)		

Aus den Beobachtungen mit Rohr A ergeben ſich die Flüſſigkeitsgrade für:

$$\text{Glyzerinlöſung I:}\quad \frac{335{,}33}{44{,}78} = 7{,}47$$

$$\text{Normalöl:}\quad \frac{4088}{44{,}78} = \mathbf{91{,}29}^{*}).$$

Mit Rohr B erhält man die Auslaufzeit für Glyzerinlöſung I = 26,68 Sec., und hieraus berechnet ſich der Waſſerwerth

$$\frac{26{,}68}{7{,}47} = 3{,}56 \text{ Sec.}$$

und man erhält hiernach die Flüſſigkeitsgrade für:

$$\text{Glyzerinlöſung II:}\quad \frac{182{,}64}{3{,}56} = 51{,}26$$

$$\text{Normalöl:}\quad \frac{335{,}93}{3{,}56} = \mathbf{94{,}29}.$$

Aus den Beobachtungen mit Rohr C ergiebt ſich die Auslaufzeit für die Glyzerinlöſung II zu 35,16 Sec., hieraus der Waſſerwerth:

$$\frac{35{,}16}{51{,}26} = 0{,}686 \text{ Sec.}$$

und demnach der Flüſſigkeitsgrad für:

$$\text{Normalöl:}\quad \frac{65{,}73}{0{,}686} = \mathbf{95{,}83}.$$

Berechnet man auch aus den Ermittelungen mit dem Engler'ſchen Apparat den Flüſſigkeitsgrad ſo hat man folgende Gegenüberſtellung:

Flüſſigkeitsgrad von Normalöl ermittelt mit dem

a) Traube'ſchen Apparat 91,3; 94,3 bezw. 95,8
b) Engler'ſchen Apparat 15,3.

Man ſieht, wie erheblich die Abweichungen zwiſchen a und b ſind. Die Abweichungen innerhalb der Reihe a laſſen ſich zum Theil durch die unvermeidlichen Beobachtungsfehler erklären, zum Theil finden ſie ihre Begründung in dem Umſtande, daß ſowohl an den Gefäß- als auch an den Rohrwänden ſich eine unbewegliche Schmierölſchicht bildet, welche den Gefäßinhalt und den Rohrdurchmeſſer verkleinert und deswegen von Einfluß auf das mit verſchiedenen Rohrweiten erzielte Ergebniß iſt. Ohne dieſen Umſtand würde der Traube'ſche Apparat geeignet ſein, auf leichte Weiſe den Koeffizienten der inneren Reibung nach abſolutem Maß zu beſtimmen. Die Nothwendigkeit der Berückſichtigung dieſer Verhältniſſe macht dieſe Beſtimmung etwas umſtändlich und zeitraubend, wie in einem ſpäteren Aufſatze in den „Mittheilungen" nachgewieſen werden ſoll. Ebendaſelbſt wird auch der Nachweis erbracht werden, daß der Traube'ſche Apparat den Flüſſigkeitsgrad ſtreng richtig zu beſtimmen geſtattet.

*) Wie man aus einer ſpäter zu veröffentlichenden Arbeit erſehen wird, iſt der Waſſerwerth für A nicht ganz richtig. Reduzirt man ihn auf Grund der Hagenbach'ſchen Korrektion, ſo erhält man $t = 44{,}78 \cdot \frac{0{,}00001101}{0{,}00001419} = 43{,}18$ Sec., und rechnet man hiermit weiter, ſo ergiebt ſich der Flüſſigkeitsgrad für Normalöl von 19,1° C mit Rohr A = 94,68
B = 97,79
C = 99,39

Digitized by Google

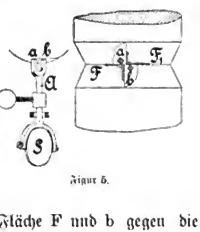
B. Bestimmung der Schichtendicke.

Die zweite der früher aufgezählten Eigenschaften, welche ein gutes Schmiermittel entwickeln muß,

die Bildung einer möglichst dicken tragfähigen Schmierschicht,

ist bisher meines Wissens nur von Jähns untersucht worden. Wie man aus der Einleitung ersehen hat, ist diese Eigenschaft von so großer Wichtigkeit, daß man auch von anderer Seite die Auffindung geeigneter Apparate und Meßmethoden betreiben sollte.

Jähns hat vor einiger Zeit der Versuchs-Anstalt die Konstruktionszeichnung seines Apparates, sowie die graphischen Darstellungen einiger seiner Versuchsergebnisse vorgelegt, aus welchen hervorging, daß die Schichtendicke eine sehr kleine Größe ist und mit dem Wärmegrade schwankt. Der Konstruktionsgrundsatz seines Apparates ist folgender: Zwischen die ebenen Endflächen zweier Körper, welche auf einen bestimmten Wärmegrad gebracht sind, werden wenige Tropfen des zu untersuchenden Schmiermittels gegeben. Die beiden Flächen werden durch meßbare Hebelkraft gegeneinander gepreßt. Der Abstand der beiden Flächen von einander unter verschiedenen spezifischen Drucken wird mittelst eines Fühlhebelwerkes unter Zuhülfenahme eines elektrischen Berührungsanzeigers gemessen. Der Fühlhebel wird mit Hülfe einer durch Räderwerk angetriebenen Mikrometerschraube so lange gesenkt, bis durch Berührung seines Tasterpunktes mit der Meßmarke an dem oberen, die bewegliche Versuchsfläche enthaltenden Stück der elektrische Strom geschlossen wird und die Galvanometer-Nadel ausschlägt, wobei zugleich das Räderwerk der Mikrometerschraube gesperrt wird. Da gegen den angewendeten Meßapparat Bedenken erhoben werden können, so habe ich versucht, unter Anwendung der Spiegelablesung die Aufgabe zu lösen, ohne indeß bisher zum Ziele gekommen zu sein. Es wird deswegen genügen, hier zur weiteren Anregung nur kurz mitzutheilen, daß der Abstand der beiden fraglichen Flächen nach Maßgabe der nebenstehenden schematischen Zeichnung (Fig. 5) mit Hülfe eines Ablesefernrohres und Maßstabes durch einen Spiegel S gemessen wird, dessen Bewegungen durch die Schneiden a und b der Achse A hervorgerufen werden. Schneide a und b liegen in kleinen Ausschnitten an den Druckstempeln, so daß a sich gegen die Fläche F und b gegen die Fläche F_1 stützt. Bei der Wichtigkeit des Gegenstandes für die richtige Erkenntniß der Reibungsvorgänge wäre es sehr zu wünschen, daß auch von anderer Seite Anstrengungen gemacht werden, die schwierige Aufgabe zu lösen. Petroff betont das theoretische Interesse ganz besonders, welches die direkte Messung der Schichtendicke zwischen den arbeitenden Flächen hat. Es kann aber nicht verkannt werden, daß diese Bestimmungsweise für die Materialprüfung von unmittelbarem praktischen Werthe sein würde, wenn es gelingt, hinreichend einfache und zuverlässige Apparate zu erfinden. Die Literatur enthält meines Wissens noch keine Angaben über Schichtendickenmessungen, da die vorerwähnten Jähns'schen Reihen leider noch nicht veröffentlicht worden sind. Großmann betont in seinem Werke über die Schmiermittel und Lagermetalle (Wiesbaden, Kreidel's Verlag) ebenfalls die Nothwendigkeit der Dickenbestimmungen.



Figur 5.

Digitized by Google

C. Beſtimmung der Ausdauerfähigkeit.

Die dritte Eigenſchaft, welche ein gutes Schmiermittel beſitzen muß, nämlich

die Entwickelung einer möglichſt langen Ausdauer, d. h. einer möglichſt geringen Veränderlichkeit ſeines günſtigſten Zuſtandes,

hängt, wie ſchon in der Einleitung angedeutet worden iſt, weſentlich von ſeiner chemiſchen Natur ab. Wenn man daher die Gründe kennen lernen will, weshalb das eine Oel ausdauerfähiger iſt als das andere, ſo wird man eine Reihe von Unterſuchungen auszuführen haben, die mehr chemiſcher Natur ſind. Will man ſich hingegen nur von dem thatſächlichen Vorhandenſein einer größeren oder geringeren Dauerhaftigkeit überzeugen, oder will man nur den Grad derſelben feſtſtellen, ſo wird man mit einer mechaniſchen Unterſuchungsform zum Ziele kommen. Letztere ſoll hier vorwiegend zur Beſprechung gelangen.

a) Mechaniſche Unterſuchung der Schmieröle.

Man wird die Ausdauerfähigkeit des Schmiermittels am beſten unter den in der Einleitung bei Beſchreibung des Reibungsvorganges zwiſchen geſchmierten Flächen erörterten Umſtänden ermitteln können und wird hierbei naturgemäß zwei Formen unterſcheiden:

Die Unterſuchung geſchieht zwiſchen zwei unter Druck befindlichen bewegten Flächen.

a) unter Hinzufügung einer beſtimmten Menge des Schmiermittels,
b) unter fortwährender Erneuerung deſſelben.

Beide Formen laſſen eine vollſtändige und erſchöpfende Unterſuchung zu; beide Formen ſind bei den zahlreichen bereits beſtehenden Prüfungsmaſchinen (denn um ſolche handelt es ſich bei Ausführung der gegenwärtig zu beſprechenden Unterſuchungen) benutzt worden und beide Formen laſſen ſich in der Regel bei jeder der einzelnen Maſchinen zur Anwendung bringen, ſodaß eigentlich eine grundſätzliche Gruppenſcheidung unter den Konſtruktionen derſelben ſich nach den obigen Vorausſetzungen nicht vornehmen läßt. Verfolgt man aber die einzelnen Veröffentlichungen, ſo erkennt man, daß die Konſtrukteure zwei Hauptrichtungen eingeſchlagen haben. Die einen wollten die Prüfung der Schmieröle rein unter den Bedingungen ausgeführt wiſſen, unter denen ſie in der Praxis zu arbeiten haben; ſie behaupteten, daß man ſich nur unter dieſen Umſtänden ein Bild von dem Werthe und der Leiſtungsfähigkeit eines Oeles machen könne; die anderen wollten die Prüfung mehr als eine nackte Materialprüfung aufgefaßt wiſſen, bei der nur die Leiſtungsfähigkeit des Schmiermittels feſtgeſtellt wird; ihnen lag daran, die Prüfung unter ſolchen Umſtänden auszuführen, daß mehr die phyſikaliſchen Eigenſchaften der Schmiermittel klar zum Ausdruck kommen, möglichſt frei von den Beeinfluſſungen durch die nebenſächlichen Verſuchsbedingungen.

Unter Auslaſſung einer Darſtellung der bisher bekannten Oelprobirmaſchinen ſollen hier nur die Geſichtspunkte und die zum allgemeinen Verſtändniß nothwendigen Grundzüge eines Entwurfes für die Konſtruktion der für die Verſuchsanſtalt beſtimmten Maſchine gegeben werden. Die Konſtruktion der Maſchine wird in einem

Digitized by Google

späteren Hefte der „Mittheilungen" nebst den Zeichnungen ausführlich veröffentlicht werden.

b) Gesichtspunkte für die Konstruktion der neuen Oelprobirmaschine.

Die Anforderungen, welche an die Maschine gestellt sind, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Das Reibungsmoment muß mechanisch gemessen werden.
2. Die Messung muß selbstthätig verzeichnet werden.
3. Der Weg der reibenden Flächen muß gemessen und verzeichnet werden.
4. Die Erwärmung der reibenden Körper muß möglichst nahe an der Schmierschicht gemessen werden.
5. Der Beharrungszustand der Wärme muß verändert werden können und zwar:
   a) durch Veränderung der Wärmeerzeugung in Folge der Veränderung der Flächenbelastung und der Geschwindigkeit,
   b) durch Veränderung der Wärmeabfuhr.
6. Die Geschwindigkeit muß möglichst genau geregelt und kontrolirt werden können.
7. Die Maschine muß es gestatten, daß die eigentlichen Versuchsflächen und Schmiervorrichtungen leicht ausgewechselt werden können, um auch vergleichende Untersuchungen über verschiedene Zapfen und Lagermaterialien, sowie über den Werth von Schmiervorrichtungen anstellen zu können.

Bei der neu aufgestellten Maschine wird das Reibungsmoment an dem glasharten wagerechten Stahlzapfen mit Hülfe eines Pendels gemessen, dessen Ausschlag auf den Schreibstift übertragen wird, welcher auf das endlose Papierband die Reibungsschaulinie aufzeichnet. Es sind drei gleichmäßig auf den Zapfenumfang vertheilte schmale Lagerschalen vorhanden, welche durch eine hydraulische Vorrichtung mit meßbarem Druck angepreßt werden können. Die Zapfenabmessungen können bis auf 150 mm Durchmesser gesteigert werden, die normalen Abmessungen sind 100 mm Durchmesser und 70 mm Länge. Der Antrieb der Maschine erfolgt mittelst eines Vorgeleges, welches dem Versuchszapfen 100—1000 Umdrehungen in der Minute ertheilen kann. Die Geschwindigkeiten werden durch Schwungrad und Regulator gleichmäßig erhalten. In jeder Lagerschale ist ganz dicht an der reibenden Fläche ein Thermometer angebracht. Um Untersuchungen bei beständigen Wärmegraden vornehmen zu können, sind hohle Zapfen mit Wasserspülung vorgesehen. Die Schmierung geschieht von unten mittelst Schmierkissen oder Tauchbad. Die oben genannten Punkte sind somit durchweg erfüllt.

c) Bestimmung der Ausdauerfähigkeit.

Zur Bestimmung der Ausdauerfähigkeit der Schmiermittel mit Hülfe der Oelprobirmaschine können zwei Wege eingeschlagen werden. Bei dem ersten wird der Versuchszapfen einmal mit einer geringen Menge Schmieröl versehen und der Versuch so lange durchgeführt, bis das rasche Wachsen des Reibungsmomentes oder der Erwärmung anzeigt, daß das Oel verbraucht ist. Bei dem zweiten Verfahren wird der Zapfen während des Versuches beständig geschmiert, und man ermittelt aus dem Oelverbrauch die Ausdauerfähigkeit.

Digitized by Google

Das erste Verfahren hat vor dem zweiten unstreitig den Vorzug, daß der Versuch in kürzerer Zeit durchgeführt werden kann; aber es hat auch einige Nachtheile. Man setzt die werthvollsten Maschinentheile gar leicht dem Verderben aus; denn jede Veränderung in dem Zustande der geschmierten Fläche kann sehr leicht einen wesentlichen Einfluß auf das Ergebniß nehmen. Tower hat bei seinen Untersuchungen nachgewiesen, daß schon beim Laufen des Zapfens in umgekehrter Richtung der Reibungskoeffizient für einige Zeit verändert wird. Die Messung der zugeführten Oelmenge muß eine sehr viel sorgsamere sein, als die meisten Autoren sie angewendet oder wenigstens beschrieben haben. Man wird dies bei folgender Ueberlegung einsehen:

Die Größe der Ausdauerfähigkeit wird bei der ersten Bestimmungsmethode gemessen durch den unter einem bestimmten Druck bis zur völligen Erschöpfung des Oels zurückgelegten Weg des Zapfenumfanges. Es muß vorausgesetzt werden, daß eine größere Menge eines Schmiermittels unter Umständen eine größere, wenn auch nicht proportionale Ausdauer haben wird, als eine geringere. Diese Voraussetzung gilt eben nur mit einer gewissen Beschränkung, weil man (zunächst einen völlig umschlossenen Zapfen vorausgesetzt) unter einem gewissen Druck überhaupt nur eine bestimmte Schmiermittelmenge zwischen die Flächen bringen kann. Das Ueberschüssige wird herausgepreßt und man muß es entfernen, wenn es nicht das Versuchsergebniß trüben soll. Braucht man diese Vorsicht, so ist zu ersehen, daß man eigentlich nur zu wenig, aber nie zu viel Oel bei einmaliger Schmierung aufthun könnte, wenn nicht bei dem Herauspressen die Zeit und die im Verlauf des Versuches auftretende Wärme eine Rolle spielte. Wie man wahrnimmt, ist die Frage nach der aufzugebenden Menge keine einfache. Dieselbe sollte streng genommen dem jedesmaligen Versuchsapparat und dem jeweilig verwendeten Schmiermittel angepaßt sein, wenn man bei der hier besprochenen Versuchsmethode nicht Gefahr laufen will, die wahre Ausdauerfähigkeit eines Oeles nicht zu erhalten. Da es aber, wie gesagt, schwer ist, das richtige Maß zu treffen, so empfiehlt es sich, mit einer in Kubikzentimetern gemessenen Menge zu arbeiten. Das Aufzählen von Tropfen würde nur dann zu empfehlen sein, wenn man die Tropfen stets von demselben Glasstabe ablaufen lassen wollte. Da in diesem Falle die Tropfengröße bekanntermaßen von der inneren Reibung des Oeles abhängig ist, die Schichtendicke aber wiederum mit derselben in Zusammenhang steht, so ist es vielleicht möglich, durch Tropfenzählen in vorbesprochenem Sinne die aufzugebende Menge noch zweckmäßiger zu bestimmen als durch Abmessen. Besondere Untersuchungsreihen würden aber immer erforderlich sein, um die Zuverlässigkeit der einen oder der anderen Messungsart zu prüfen. Es ist eigentlich zu verwundern, daß von den Autoren, welche nach der Methode der einmaligen Schmierung gearbeitet haben, diese Grundlage noch keiner Prüfung unterzogen ist; veröffentlicht scheint hierüber wenigstens nichts zu sein.

Das zweite Verfahren zur Bestimmung der Ausdauerfähigkeit hat allerdings den Uebelstand, daß der Versuch längere Zeit in Anspruch nimmt, weil immer erst eine größere Menge des Schmieröles erschöpft sein muß, bevor man hinreichend sicher durch Inhalts- oder Gewichtsmessung den Verbrauch feststellen kann. Auch bei dieser Methode bedarf es einer Reihe von Vorsichtsmaßregeln, wenn man zuverlässige Ergebnisse erzielen will.

Die Art der Schmiervorrichtung ist hier von großem Einfluß und es scheint geboten, daß man einen solchen Apparat anwendet, welcher bezüglich seiner Leistungs-

Digitized by Google

fähigkeit keinen Veränderungen unterworfen iſt. Ein ſolcher Apparat ſcheint bis jetzt nur das Tauchbad zu ſein. Unter allen Umſtänden hat man dafür Sorge zu tragen, daß Fehlerquellen durch andere Verluſte als durch Erſchöpfung vermieden werden. Man wird jedesmal, wenn man ein neues Oel anwendet, zuvor den Zapfen mit demſelben eine kurze Zeit einlaufen laſſen und dann erſt das Anfangsgewicht des Bades feſtſtellen müſſen. Man kann dann durch Abziehen des Endgewichtes ohne Weiteres den Verluſt ermitteln und wird hierbei keinen weſentlichen Fehler begehen, wenn man bei Entnahme des Bades zu Anfang und Ende des Verſuches mit gleicher Vorſicht verfährt.

D. Phyſikaliſche und chemiſche Prüfungsmethoden.

Wie bereits früher hervorgehoben, begründet ſich die Ausdauerfähigkeit eines Schmiermittels auf ſeinen phyſikaliſchen und chemiſchen Zuſtand, und man wird nunmehr auch diejenigen Methoden in Betracht zu ziehen haben, welche zur Feſtſtellung dieſes Zuſtandes dienen. Man findet hierüber Mittheilungen in den nachfolgend verzeichneten Arbeiten und größeren Werken:

Poſt: Chemiſch-techniſche Analyſe 1881.

Schädler: Die Technologie der Fette und Oele des Pflanzen- und Thierreiches. — Berlin, A. Seydel 1883.

Schädler: Die Technologie der Fette und Oele der Foſſilien, ſowie der Harzöle und Schmiermittel. — Leipzig, Baumgärtner 1885.

Großmann: Die Schmiermittel und Lagermetalle. — Wiesbaden, Kreidel 1885.

Donath: Prüfung von Schmiermaterialien; 1880.

Thurſton: Friction and Lubrication.

Fiſcher: Ueber Unterſuchung von Schmierölen. Dingl. 1880 B. 236. S. 487.

Lamansky: Unterſuchungen über Schmieröl. Dingl. 1883. B 248. S. 29—188. B. 256. S. 176.

Lamansky: Sichere Schmieröle. Techniker 1884. Nr. 24.

Belleroche: Die Kohlenwaſſerſtoffe als Schmiermittel. Rev. univers 1883 Nr. 2.

Thurſton: Journal Am. Asc. 1877 S. 61. — Civilingenieur 1879 S. 489.

Hirn: Bullet. Mulhouse 1855.

Woodbury: Engng. 1884 S. 532. — Z. d. V. d. Ing. 1885 S. 450.

Tower: Reibung der Schmiermittel. Proc. Inst. Mech. Engs 1883. S. 632. — Engng. 1883. S. 451 — Eng. 1884. S. 180. — Z. d V d. Ing. 1885. S. 834.

Bühlmann: Ueber den Werth der bisher angeſtellten Zapfenreibungsverſuche, ſowie über die Schmiermittel zur Verminderung dieſer Reibung. Hann. Gewbbl. 1886. S. 194.

Kirchweger: Verſuche über Zapfenreibung an Eiſenbahnwagenachſen; Hann. Gewbbl. 1862. S. 230.

J. A. Ortolan: Ueber Mineralöle. Bullet. Soc. Acad. de Brest. VII.

N. Petroff: Neue Theorie der Reibung. Hamburg, Leopold Voß. 1887.

Engler: Die deutſchen Erdöle.

Krämer und Böttcher: Ueber deutſche Rohpetrole, deren Unterſuchung und Verarbeitung. | Verhandl. d. Ver. z. Bef. d. Gewerbfleiß. 1887. IX. S. 549.

Digitized by Google

Schlüpfrigkeit.

Unter den Eigenschaften, welche die Dauerhaftigkeit eines Schmiermittels begründen, ist zunächst die in der Einleitung bereits besprochene Fähigkeit zu erwähnen, unmittelbar an der geschmierten Fläche eine sehr fest anhaftende Schicht zu bilden. Man bezeichnet diese Eigenschaft auch wohl als die Adhäsion oder die Kapillarität. Von dieser Eigenschaft ist die Fähigkeit, eine Schmierschicht von hinreichender Tragfähigkeit zu bilden, abhängig.

Großmann benutzt für die gleiche Erscheinung die deutsche Bezeichnung „Schlüpfrigkeit der Schmiermittel", deren Berechtigung er mit dem Auftreten des eigenthümlichen Gefühles begründet, welches fette Körper beim Reiben zwischen den Fingerspitzen verursachen. Er empfiehlt, den Grad der Schlüpfrigkeit auf folgende Weise zu bestimmen:

Auf zwei ebene Platten bringt man das zu untersuchende Oel und läßt es dann in lothrechter Stellung abtropfen. Die Platten werden nun auf einander gelegt und belastet. Die unter den verschiedenen Belastungen ausgepreßte Oelmenge würde ein Maß für die Schlüpfrigkeit geben können.

Die Ausdauerfähigkeit des Schmieröles ist bedingt durch seine Schlüpfrigkeit; je größer diese ist, um so besser haftet das Oel an den Gleitflächen, und um so länger, beziehentlich um so energischer müssen die verdrängenden Kräfte wirken, bevor sie die Schichtendicke soweit zu vermindern vermögen, daß die festen Flächen in Berührung mit einander kommen. Aber nicht die Schlüpfrigkeit allein reicht hin, um eine große Ausdauerfähigkeit zu erzielen; hierfür kommen vielmehr ferner noch in Betracht: Der Entflammungspunkt, der Siedepunkt und die Verdunstungsfähigkeit bei verschiedenen Wärmegraden. Je höher der Entflammungspunkt und der Siedepunkt liegen, desto geringer wird im allgemeinen die Verdunstungsfähigkeit sein und desto besser ist das Schmiermittel, vorausgesetzt, daß Zähigkeit und Schichtendicke den Anforderungen entsprechen. Die Ausdauerfähigkeit wächst in gleichem Maße. Bei den Mineralölen ist es ganz besonders von Wichtigkeit, die genannten drei Eigenschaften dem Maße nach zu bestimmen, weil bei ihnen die betreffenden Punkte verhältnißmäßig tief liegen können.

Entflammungspunkt.

Den Entflammungspunkt wird man am zuverlässigsten mit den Apparaten von Abel oder Bailey bestimmen können. Bei dem Abel'schen Apparat wird in einem geschlossenen Gefäß von bestimmtem Inhalt die zu untersuchende Masse allmählich erwärmt und in das sich bildende Gemisch von Luft und Dämpfen ein kleines Flämmchen von bestimmter Größe auf gewisse Zeitdauer eingetaucht. Das Eintauchen wiederholt man bei den einzelnen Thermometerablesungen, bis eine Entzündung des Gemisches erfolgt; die Wärmeablesung ergiebt alsdann den Entflammungspunkt.

Bei dem Apparat von Bailey wird das zu untersuchende Schmiermittel in einem geschlossenen Gefäß erwärmt, die entstehenden Dämpfe umströmen die Kugel des Thermometers und entweichen durch eine feine Oeffnung, wobei sie durch eine Flamme entzündet werden. Die Wärmeablesung im Augenblick der Entzündung giebt den Entflammungspunkt.

Die Angaben beider Apparate werden bei denselben Oel wahrscheinlich abweichende Ergebnisse zeigen, da bei dem Abel'schen die Entzündung eines Gemisches von Luft

Digitized by Google

und Dämpfen erfolgt, bei dem Bailey'ſchen aber mehr oder weniger die reinen Dämpfe entzündet werden. Es läßt ſich aber erwarten, daß die Unterſchiede keine erheblichen ſein werden. Auch bei der vielfach gebräuchlichen Beſtimmung im offenen Tiegel wird man etwas andere Ergebniſſe erhalten, ſo daß es ſehr wünſchenswerth wäre, auch bezüglich dieſer Beſtimmungsmethoden eine Einheitlichkeit zu erzielen. Für die Verſuchs-Anſtalt iſt ein Abel-Pensky'ſcher Apparat beſchafft worden.

Verdunſtungsfähigkeit.

Der Siedepunkt und die Verdunſtungsfähigkeit können beide auf leichte, hinreichend bekannte Weiſe feſtgeſtellt werden. Zur Beſtimmung der letzteren wird es für die Zwecke der Schmierölunterſuchung genügen, wenn man die fraktionirte Deſtillation bei ſolchen Wärmegraden vornimmt, wie ſie in der Regel während der Schmierung vorkommen, oder wie ſie in außergewöhnlichen Fällen während des Heißlaufens eintreten können, denn gerade unter letzterem Umſtande kommt eine hohe Verdampfungswärme dem Oele bei ſeiner Arbeitsleiſtung ganz beſonders zu ſtatten. Belleroche ſtellt die Menge der Deſtillate bei 290° C. feſt und beſtimmt auch noch die zur Schaumbildung nöthige Wärme. Engler beſtimmt die Menge der Deſtillationsprodukte bei verſchiedenen Wärmegraden; der von ihm benutzte Apparat iſt für die Verſuchs-Anſtalt beſchafft worden. Ueber die nach Abfaſſung dieſes Berichtes gewonnenen Erfahrungen wird ſpäter eine Veröffentlichung folgen.

Chemiſche Unterſuchung.

Die Ausdauerfähigkeit eines Schmieröles iſt aber noch durch eine Reihe von Umſtänden bedingt, welche mehr chemiſcher Natur ſind. Dabei kommt zuerſt in Betracht, ob das Oel Säuren enthält oder während der Arbeit erzeugt, welche das Metall angreifen oder ſich mit ihm zu Metallſeifen verbinden, ob es zum Verharzen geneigt iſt, ob es üble Gerüche verbreitet oder geſundheitsſchädlich wirkt. Die Zerſetzung des Oeles darf erſt in hoher Wärme mit nennenswerther Geſchwindigkeit vor ſich gehen, wenn es als Schmieröl gute Eigenſchaften entwickeln ſoll. Hieraus ergiebt ſich die Nothwendigkeit, ein unbekanntes Oel auch chemiſch zu prüfen, wenn man ſeine Eigenſchaften im ganzen Umfange kennen lernen will. An dieſer Stelle ſoll aber auf die chemiſchen Unterſuchungen nicht eingegangen werden; ſie ſind in den weiter oben als Quellen angeführten Werken und Arbeiten ausführlich behandelt. Bemerkt ſei nur, daß dieſe Unterſuchung zunächſt die ſoeben erwähnten Eigenſchaften:

1. Einwirkung auf die Lagermetalle,
2. Verharzungsfähigkeit,
3. Beſtändigkeit der chemiſchen Natur bei hoher Wärme,

dem Grade nach feſtzuſtellen hat, und daß die Schmiermittel namentlich auf minderwerthige Beimengungen und Fälſchungen zu unterſuchen ſind.

III. Ergebniſſe der im Jahre 1885 ausgeführten Vorunterſuchungen.

Zu Nachfolgendem ſollen die Ergebniſſe der im Jahre 1885 angeſtellten Vorunterſuchungen mitgetheilt werden, ſoweit dieſelben von allgemeinem Intereſſe ſein können. Die Verſuche hatten den Zweck, das Perſonal der Anſtalt mit den Unterſuchungsmethoden genauer bekannt zu machen und namentlich einen Ueberblick über die Brauchbarkeit

Digitized by Google

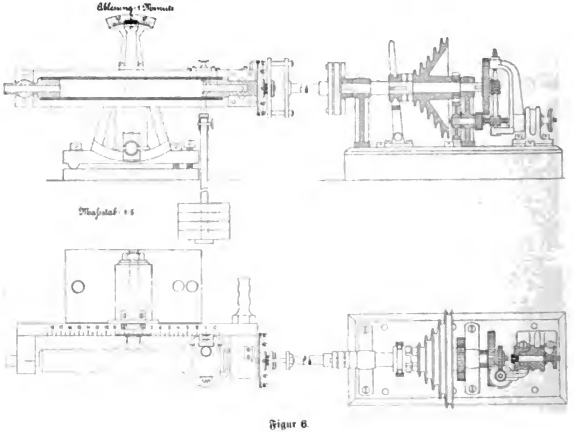
und Zuverläſſigkeit der benutzten Apparate zu gewinnen. Sie wurden mit Rüböl ausgeführt, welche zu dem Zwecke vom „Verbande deutſcher Müller“ geliefert worden waren und über welche Anlage A (S. 38) die näheren Angaben enthält.

Mit dieſen Oelen wurden mechaniſche, phyſikaliſche und chemiſche Unterſuchungen angeſtellt.

Von den mechaniſchen Prüfungsmethoden dürften vornehmlich die mit dem Herrmann'ſchen Oelprüfungsapparat gewonnenen Verſuchsergebniſſe intereſſiren.

A. Unterſuchungen mit dem Herrmann'ſchen Apparat.*)

Der Herrmann'ſche Apparat iſt in ganz vorzüglicher Ausführung nach meinen Angaben von dem mechaniſchen Inſtitut von Karl Bamberg, Berlin N, nach der nebenſtehenden Zeichnung, Fig. 6 geliefert worden



Figur 6.

Der Apparat beſteht aus einer zylindriſchen Spindel, welcher man eine beſtimmte Neigung gegen die Wagerechte geben kann. Auf der Spindel reitet eine durch Gewicht belaſtete Lagerſchale, welche ſie halb umfaßt. Wird die Spindel in Umdrehung verſetzt, ſo gleitet das Lager in der Richtung der Längsachſe über die Spindel. Aus der Spindelneigung, der Umdrehungszahl und der Größe der Gleitung wird der Reibungskoeffizient berechnet.

*) Zeitſchrift d. Vereins deutſcher Ingenieure 1883 S. 1.

Digitized by Google

Die dem Apparate zu Grunde liegende Theorie führt zu der nachſtehenden Gleichung:

$$\mu = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\sin\beta}, \text{ in welcher}$$

μ = Reibungskoeffizient,

α = Neigungswinkel der Verſuchsſpindel gegen die Wagerechte,

β = Neigungswinkel der von irgend einem Punkte der Lagerſchale auf dem Spindelumfang beſchriebenen Schraubenlinie gegen die Querſchnittsebene iſt.

Da der Winkel β bei der geringen Spindelneigung, welche hier in Anwendung kommt, klein iſt, ſo kann man ſetzen:

$$\sin\beta = \operatorname{tg}\beta = \frac{s}{\pi d} = \frac{1}{n\pi d}, \text{ worin}$$

d = Durchmeſſer der Spindel,

s = die Verſchiebung des Lagers in der Axenrichtung der Spindel, d. h. gleich der Steigung der Schraubenlinie und

$n = \frac{1}{s}$ die Zahl der erforderlichen Spindelumdrehungen iſt, um die Lagerſchale in der Axenrichtung um die Größe

l zu verſchieben.

Führt man dieſe Werthe ein, ſo iſt der Reibungskoeffizient:

$$\mu = \frac{\pi d \operatorname{tg}\alpha}{e} n.$$

Bezogen auf Millimeter und auf den am vorliegenden Apparate vorhandenen und durch mehrfache Meſſungen feſtgeſtellten Spindeldurchmeſſer d = 25,50 mm ergiebt ſich:

$$\mu = \frac{80{,}11 \operatorname{tg}\alpha \frac{n}{l}}{\log 80{,}11 = 1{,}9036901}$$

Gleich bei den erſten Verſuchen, welche mit dem Apparate angeſtellt wurden, ergab ſich, daß der Einfluß der Geſchwindigkeit, mit welcher die Spindel gedreht wurde, ſehr groß war. Dem entſprechend iſt noch ein beſonderes Vorgelege (Fig. 6) beſchafft worden, welches von der vorhandenen Wellenleitung aus angetrieben wurde und die Benutzung von 15 verſchiedenen Ueberſetzungen geſtattete, ſodaß man imſtande war, ſowohl ſehr langſame, als auch ziemlich ſchnelle Umdrehungsbewegungen zu erzeugen. Die Uebertragung der Drehbewegung auf die Spindel geſchah mittelſt des Hook'ſchen Gelenkes. Da der Apparat in Bezug auf ſeine Aufſtellung ſehr empfindlich iſt, ſo war man genöthigt, ihn auf einem in die Wand des Gebäudes vermauerten Konſol zu befeſtigen, welches ohne Verbindung mit dem das Vorgelege tragenden angebracht iſt. Auf das Konſol wurde dann zugleich mit dem Vorgelege ein größeres Waſſergefäß geſtellt, welches durch eine Gasflamme erhitzt werden konnte. Dieſes Gefäß ſtand durch ein Gummirohr mit dem ringförmigen Hohlraum des oberen zylindriſchen Lagers der Spindel in Verbindung. Von hier aus gelangte der durch den Schlauch zugeführte Strom erhitzten Waſſers (beziehentlich Dampfes) durch zwei in dem Lagerhals des Zapfens angebrachte Löcher in den Hohlraum der Spindel, um dann am anderen Ende derſelben austreten zu können. Die Wärme des austretenden Stromes und diejenige des Waſſerbades wurde gemeſſen. Die Spindel iſt am linken Ende in einer

Digitized by Google

Kugelfläche gelagert, um jede Verschiebbarkeit in der Arenrichtung zu vermeiden, während die zylindrische Lagerung am andern Ende der Spindel bei der Erwärmung eine freie Ausdehnung gestattet. Hierdurch ist bei sicherer Lagerung jedes Klemmen vermieden.

Die Empfindlichkeit des Apparates ist so groß, daß man bei seiner genauen Ausrichtung einer Wasserwage entbehren kann; man kann vielmehr die richtige Lage des Nullpunktes der Kreistheilung zur Bestimmung des Winkels α dadurch herbeiführen, daß man die Einstellschrauben in der Fußplatte so lange benutzt, bis der Nullpunkt des Nonius und der Kreistheilung zusammenfallen, wobei die Spindel so gestellt ist, daß die gut geschmierte Lagerschale bei bewegter Spindel weder nach links noch nach rechts abgleitet. Die geringste Spindelneigung gegen die Wagerechte würde sofort ein Abgleiten des Lagers zur Folge haben. Die große Empfindlichkeit zeigte sich auch darin, daß, obwohl man nicht imstande war, durch Nachmessen Abweichungen im Spindeldurchmesser zu entdecken, bei Inangriffsetzung der Vorrichtung dennoch Ungleichförmigkeiten in der Bewegung sich herausstellten, die erst verschwanden, als Lager und Spindel mittelst Polirroth gehörig eingeschliffen waren.

Da bei Gelegenheit der Feststellung dieser Ungleichförmigkeiten der Spindelfläche einige weitere Einblicke in die Wirkungsweise des Apparates gewonnen worden sind, so ist es nothwendig, an dieser Stelle über die einschlägigen Versuche näher zu berichten. Die Ergebnisse derselben finden sich in Anlage B (S. 39) unter Versuchs-Nr. 18 bis 36 niedergeschrieben und die Schaubilder derselben auf Taf. 1 unter Nr. 18 bis 36 gegeben. Die Versuche 1 bis 17 sind in etwas anderer Form ausgeführt worden und hatten lediglich den Zweck, die Wirkung des Schleifprozesses zu beobachten.

Alle Versuche sind mit dem Rüböl V_a und bei Zimmerwärme ausgeführt.

Bei den Versuchen wurden aus dem sorgfältig vor Staub geschützten Vorrathsgläschen mit einem Glasstabe einige Tropfen Oel entnommen und mit Hülfe der Lagerschale ganz gleichmäßig auf der Spindel vertheilt, bevor der eigentliche Versuch begann. Da die geringste Unreinigkeit, ebenso wie jede Veränderung der Spindeloberfläche eine Fehlerquelle ist, so muß sehr sorgfältig auf Reinheit und gute Behandlung des Apparates gehalten werden.

Bei den Versuchen Nr. 18 bis 36 ist durchweg mit einer Spindelneigung $\alpha = 3$ Min. nach rechts oder nach links gearbeitet worden.

Da sich bald herausstellte (Nr. 18—22), daß ein geringfügiger Fehler in der Spindelneigung einen beträchtlichen Einfluß auf das Versuchsergebniß hatte, so wurde später die Spindelneigung nur dann verändert, wenn die Versuche mit verschiedenen Geschwindigkeiten durchgeführt waren. Obwohl die Nonienablesung am Kreise bis auf 1 Min. geht, so war es doch nicht möglich, die Einstellungen so genau zu bewirken, daß bei Linksneigung unter sonst gleichen Umständen die gleichen Ergebnisse erzielt wurden, wie bei Rechtsneigung. Dieser Umstand könnte allerdings auch in der Oberflächenbeschaffenheit der Spindel begründet sein, allein diese Vermuthung hat bei der angewendeten Sorgfalt und bei dem stattgehabten sorgsamen Einschleifen von Spindel und Lagerschale wenig Wahrscheinlichkeit für sich; er hätte sich auch wohl durch erheblichere Ungleichförmigkeiten in den Schaulinien kenntlich machen müssen.

Die Ausführung der Versuche erfolgte nach der in Anlage B (Seite 39) angegebenen

Digitized by Google

Weiſe, indem für verſchiedene Werthe von α und für verſchiedene Umfangsgeſchwindigkeiten die Zahl der Umdrehungen feſtgeſtellt wurde, welche zum Abgleiten der Lagerſchale um je 10 mm erforderlich waren.

Aus den Schaulinien Taf. 1 erſieht man, daß die Werthe beim Beginn und zu Ende der Bewegung meiſtens gewiſſe Unregelmäßigkeiten erkennen laſſen. Dieſelben dürften daher rühren, daß es ſchwer iſt, das mit der linken Hand feſtgehaltene Lager genau in dem Augenblick loszulaſſen, in welchem man den Stoß des Triebwerkmitnehmers am Finger der rechten Hand verſpürt; auch kann es kaum vermieden werden, unabſichtlich dem Lager in dem einen oder dem anderen Sinne eine gewiſſe Beſchleunigung zu ertheilen. Ferner iſt es nicht ausgeſchloſſen, daß in der That an den Enden der Spindel ein geringfügiger Unterſchied des Flächenzuſtandes gegen den der Mitte beſteht; namentlich ſcheinen die Schaulinien 22 bis 25 hierauf hinzudeuten. Im allgemeinen darf man bei der angewendeten rohen Beobachtungsmethode mit der Uebereinſtimmung der unmittelbar hinter einander gewonnenen Verſuchsergebniſſe wohl zufrieden ſein.

Die Uebereinſtimmung der Verſuche bei gleicher Spindelneigung und gleicher Umdrehungsgeſchwindigkeit iſt nicht ſo groß. Aber auch dieſer Umſtand findet ſeine Erklärung in der großen Empfindlichkeit des Apparates. Will man daher mit demſelben feinere wiſſenſchaftliche Beobachtungen anſtellen (wozu er ganz gut geeignet ſein dürfte, wenn man ſich auf die Anwendung geringer Belaſtungen und Geſchwindigkeiten beſchränken kann), ſo wird es unumgänglich nothwendig werden, beſondere Vorkehrungen für ſcharfe Ermittelung der zurückgelegten Wege und der zugehörigen Umdrehungszahlen anzubringen. Hierzu würde am einfachſten eine elektriſche Selbſtaufzeichnung dienen können.

Betrachtet man den allgemeinen Charakter der erhaltenen Linienzüge (Taf. 1), ſo erkennt man auf den erſten Blick, daß eine Beſchleunigung der Bewegung der Schale in der Richtung der Spindelaxe ſtattfindet. Die Höhenordinate, d. h. die Umdrehungszahlen, nehmen in allen Liniengruppen geſetzmäßig ab. Es liegt nahe, in dieſer Erſcheinung eine Wirkung der Schwerkraft zu vermuthen, da die Geſchwindigkeitskurve für das reibungsfreie Gleiten des Lagers auf der Spindel einen ähnlichen Verlauf zeigen muß, wie die die Verſuchsergebniſſe darſtellenden Linien (vergl. Taf. 3). Ausgeführte Berechnungen haben zwar einen Einfluß in dieſer Richtung nachgewieſen, aber das ermittelte Verbeſſerungsglied war von ſolcher Kleinheit, daß nach der Anbringung deſſelben immer noch eine beträchtliche Abweichung von dem bei nicht beſchleunigter Bewegung ſtattfindenden Verlauf der Kurven verblieb.

Leider ſind, wie ſchon zu Anfang dieſes Berichtes dargethan worden iſt, die Verhältniſſe bei der Reibung zwiſchen geſchmierten Flächen ſo verwickelter Natur, daß es bisher trotz vielfacher Bemühung noch nicht gelungen iſt, einen klaren Einblick in die Urſachen dieſer bei den Verſuchen zum Ausdruck gekommenen Beſchleunigung zu gewinnen. Es ſcheint, als ob durch die innere Arbeit der Schmierſchicht ſchon bei ſo geringen Geſchwindigkeiten, wie ſie zur Anwendung gekommen, eine Veränderung der inneren Reibung des Oeles erzeugt wird.

Bemerkt ſei an dieſer Stelle noch, daß man davon Abſtand genommen hat, die

Digitized by Google

etwas mühſelige Umrechnung der Verſuchsergebniſſe auf den Reibungskoeffizienten durchzuführen, daß man vielmehr ſich damit begnügte, die ermittelten Umdrehungszahlen ſelbſt, welche ja direkt proportional den Reibungskoeffizienten ſind, unmittelbar zur Auftragung zu bringen.

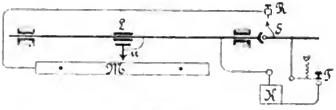
Es ließ ſich vermuthen, daß die Menge des jeweilig aufgegebenen Schmiermateriales von einigem Einfluß auf die Bewegungsgeſchwindigkeit ſein würde. Verſuche, welche zur Ermittelung dieſes etwaigen Einfluſſes angeſtellt wurden, haben jedoch ergeben, daß die aufgegebene Schmierölmenge innerhalb der in Anlage B (Seite 48) gegebenen Grenzen jedenfalls nur einen vernachläſſigbaren Einfluß ausübt. Man erkennt aus den Mittelwerthen ſofort, daß bei der Anwendung von 4 bis 6 Tropfen Oel eine geſetzmäßige Aenderung der Gleitungsgeſchwindigkeit nicht gefunden worden iſt. Die erzielte Schichtendicke war alſo unter den hier benutzten Verhältniſſen immer ausreichend groß, ſo daß nur die innere Reibung der Schicht zum Ausdruck kam.

Aus dem Vorbeiſprochenen geht für die weiteren Unterſuchungen mit dem Herrmann'ſchen Apparat die Nutzanwendung hervor, daß man beim Gebrauch ähnlicher Einrichtungen an verſchiedenen Orten gut thun würde, ſtets Apparate von gleichen Abmeſſungen zu benutzen und die Verſuche ganz gleichartig durchzuführen, weil man nur unter dieſen Bedingungen gleichwerthige Ergebniſſe erzielen kann, die ohne weiteres mit einander verglichen werden können. Da man zur Vereinfachung der Arbeit bei der eigentlichen Materialprüfung von einer Ableſung von 10 zu 10 mm Gleitungsweg Abſtand nehmen wird, ſo iſt es nicht gleichgültig, welche Wegelänge man dem Verſuche zu Grunde legt und welche Spindelſtelle man für die Ermittelungen benutzt. Bei den nachfolgend beſchriebenen Verſuchen wurde ſtets die Spindellänge zwiſchen den Theilſtrecken 0 und 170, beziehentlich umgekehrt, benutzt, und in die verzeichneten Schaulinien iſt die entſprechende Geſammtumdrehungszahl eingetragen. Es wäre unzweifelhaft beſſer geweſen, den erſten Theil der Skala und vielleicht auch den letzten von dem Verſuche auszuſchließen, um die früher beſprochenen Fehler in der Anfangsbewegung zu vermeiden. Man würde alſo zweckmäßig die Bewegung des Lagers vom Theilſtrich 0 oder 170 aus beginnen laſſen, aber erſt die Umdrehungen für die Strecke 40 bis 160 oder 130 bis 10 zählen. Man würde hierbei außer dem vorgenannten Vortheile auch noch denjenigen gewinnen, daß man mit größerem Rechte die mittlere Geſchwindigkeit für die Berechnung des Reibungskoeffizienten nehmen darf, da der entſprechende Theil der Kurve mit großer Annäherung durch eine Gerade erſetzt werden kann. Eine Erſchwerung der Beobachtung würde man freilich mit in den Kauf nehmen müſſen, die die gewonnenen Vortheile vorausſichtlich vollſtändig hinfällig machen würde, wenn nicht durch Vervollkommnung des Apparates eine beſſere Ableſung ermöglicht wird.

Eine ſolche Verbeſſerung wird an dem Apparat der Verſuchs-Anſtalt noch angebracht werden, weil die nachfolgend mitzutheilenden Verſuchsergebniſſe es lohnend erſcheinen laſſen, gelegentlich die dort nur näherungsweiſe ermittelten Geſetze durch feinere Beobachtungsmethoden genauer zu erfaſſen. Man denkt bei dieſer Einrichtung den überſpringenden elektriſchen Funken für die Selbſtaufzeichnung nach Art der Fig. 7 zu benutzen.

Digitized by Google

Mit dem Kondenſator k ſteht durch die Spindel das Lager L in Verbindung. Sobald der Taſter T niedergedrückt wird, iſt auch die Verbindung nach einer iſolirt am Mitnehmer befeſtigten Spitze S hergeſtellt; demgemäß wird der Entladungsfunke von S nach R überſpringen, ſobald der Mitnehmer eine volle Umdrehung gemacht hat. Das Ueberſpringen erfolgt gleichzeitig auch zwiſchen der Spitze U nach dem auf dem Maßſtabe angebrachten empfindlichen Papier M, wodurch auf letzterem ein Fleck hinterlaſſen wird. Nun wird der Taſter losgelaſſen und erſt kurz vorher geſchloſſen, bevor das Lager an dem unteren Ende ſeines Laufes angekommen iſt. Die Folge iſt, daß bei der nächſten vollen Umdrehung jetzt wiederum ein Funke überſpringt. Man kann dann nachträglich den Weg ausmeſſen, welcher zu einer vollen Anzahl von n-Umdrehungen gehört.



Figur 7.

Wie man aus dem früher Geſagten erkannt haben wird, hat eine große Zahl von Umſtänden Einfluß auf den Reibungsvorgang und es kam darauf an, dieſe Einwirkungen und die Größe derſelben durch eine Reihe von Verſuchen feſtzulegen. Die Ergebniſſe dieſer Unterſuchungen ſind in Anlage B, Tabelle III und in den Schaubildern Blatt Nr. 4 bis 9, Taf. 2 und 3 niedergelegt worden. Es muß vor der Beſprechung an dieſer Stelle jedoch bemerkt werden, daß die nachbeſchriebenen Verſuche, wie die ganzen in dieſem Berichte beſprochenen Arbeiten, den Charakter des Anfanges einer Forſchung tragen, daß man von ihnen daher eine endgültige und erſchöpfende Löſung der Aufgabe nicht erwarten darf. Vielmehr haben erſt die bei dem Zuſammentragen und Studiren erhaltenen Ergebniſſe beſſere Geſichtspunkte für die ſpätere Verſuchsausführung gewinnen laſſen.

Bei den Verſuchen 37 bis 86 wurden bei den Spindelneigungen $\alpha = 3$, 20 und 40 Minuten verſchiedene Umfangsgeſchwindigkeiten V und verſchiedene Belaſtungen zwiſchen 400 und 1200 g angewendet. Bei den Belaſtungen unter 800 g zeigten ſich noch vielfach Unzuträglichkeiten, die ſich namentlich durch Pendeln des Lagers u. ſ. w. bemerkbar machten. Leider iſt es verſäumt worden, die ſchon früher beſprochene Vorſicht zu gebrauchen, den Neigungswinkel α nur dann zu verändern, wenn die ganzen Verſuchsreihen für einen beſtimmten Neigungswinkel durchgeführt waren. Ebenſo ergiebt ſich die Nothwendigkeit, bei einer Wiederholung der Verſuche mit dem noch weiter verbeſſerten Apparat die Fehlergröße infolge des ungenauen Einſtellens durch eine beſondere Verſuchsreihe zu ermitteln. Die Abweichungen, welche ſich in den Ergebniſſen der beiden Parallelreihen, Verſuche Nr. 37—65 und Nr. 66—86, zeigen, müſſen außer auf der letztgenannten Fehlerquelle noch auf anderen Urſachen beruhen, da in der Schaulinie Blatt 4, Taf. 2 durchweg die punktirten Linien höher liegen, als die gleichwerthigen und gleichbezeichneten ausgezogenen.

Die allgemeinen Schlußfolgerungen, welche man aus der bildlichen Darſtellung der Verſuchsergebniſſe zu ziehen vermag, laſſen ſich aus Blatt 4 wie folgt ableiten. Die Umdrehungszahlen nehmen, wie ſelbſtverſtändlich iſt, mit dem wachſenden Neigungswinkel ab, wie man aus den drei Liniengruppen für $\alpha = 3$, 20 und 40 Minuten erkennt, von denen diejenigen für $\alpha = 3$ Minuten bezüglich der ſenkrechten Ordinaten (Um-

Digitized by Google

drehungen) im Einzehntel-Maßſtab gegen die beiden anderen Gruppen gezeichnet iſt. Innerhalb der drei Beobachtungsgruppen nehmen die ſenkrechten Ordinaten (alſo die Umdrehungszahlen) für die gleichen Geſchwindigkeiten mit wachſender Belaſtung ziemlich erheblich ab, d. h. der Reibungskoeffizient wird unter ſonſt gleichen Bedingungen mit wachſender Belaſtung abnehmen. Da aber die Linien, wie es ſcheint, bei noch größeren Belaſtungen, als ſie aus anderen Gründen bei dem vorhandenen Apparat angewendet werden können, ſich der Nullinie aſymptotiſch zu nähern ſcheinen, ſo dürfte für ſtärkere Belaſtungen der Reibungskoeffizient konſtant werden. Vergleicht man die Linienzüge einer Gruppe mit einander, ſo erkennt man leicht, daß auch die Geſchwindigkeit einen großen Einfluß auf die Umdrehungszahl, d. h. auf den Reibungskoeffizienten hat. Die Reibungskoeffizienten nehmen mit abnehmender Geſchwindigkeit ab.

Will man die Geſetze der Zapfenreibung, wie ſie der Herrmann'ſche Apparat innerhalb der Grenzen der Verſuchsbedingungen ergiebt, noch genauer kennen lernen, ſo wird man die zeichneriſche Behandlung der Verſuchsergebniſſe weiter ausdehnen müſſen, wie dies auf Blatt 5—9 (Taf. 2 und 3) geſchehen iſt. Man wird ſich zunächſt zu vergegenwärtigen haben, daß im Grunde genommen die Linienzüge auf Blatt 4 (Taf. 2) nichts anderes ſind, als die ſenkrechten Durchſchnitte durch eine Schar von gekrümmten Flächen, wobei dieſe Schnitte parallel zu der durch die x-, y- und z-Axen gelegten Nullebene geführt ſind. In der Richtung der x-Axe hat man ſich die Belaſtungen, in der Richtung der y-Axe die Geſchwindigkeiten und in der Richtung der z-Axe die zugehörigen Umdrehungszahlen aufgetragen zu denken. Durch eine krumme Oberfläche würde alſo das Abhängigkeitsgeſetz zwiſchen Belaſtung, Geſchwindigkeit und Reibungskoeffizienten für eine beſtimmte Spindelneigung α und für eine beſtimmte gleichbleibende Wärme gegeben ſein. Durch ebene Schnitte parallel zur z-Axe (ſenkrechte Schnitte) kann man auf zeichneriſchem Wege das Geſetz nach ſeinem ganzen Umfange darſtellen.

Blatt 5 (Taf. 2) ſtellt eine Reihe ſolcher Schnitte parallel zu der vorbezeichneten y—z-Ebene dar. Man erkennt aus den ſtark ausgezogenen Ausgleichslinien für 400, 600 und 800 g Belaſtung, wie der Reibungskoeffizient (die Umdrehungszahl) bei allen angewendeten Belaſtungen anfangs nahezu proportional mit der Umfangsgeſchwindigkeit der Spindel wächſt. Alle Kurven laſſen aber eine ſchwache Krümmung nach der y-Axe für den ferneren Verlauf als wahrſcheinlich annehmen.

Um das vorhin entwickelte zeichneriſche Verfahren zur Anwendung zu bringen, zugleich aber die wünſchenswerthe Ueberſichtlichkeit zu wahren, ſind für Blatt 6—9 (Taf. 3) nur diejenigen Werthe der Ausgleichslinien von Blatt 4 (Taf. 2) übernommen, welche durch die punktirten Linien gekennzeichnet ſind. Bezüglich dieſer Werthe iſt auf Blatt 6 (Taf. 3) zunächſt der Einfluß des Neigungswinkels α, der Lagerbelaſtung P und der Umfangsgeſchwindigkeit V auf die Umdrehungszahlen U ermittelt worden. Hierbei muß noch darauf verwieſen werden, daß nunmehr nicht mehr die Umdrehungszahlen proportional den Reibungskoeffizienten zu ſetzen ſind, weil dieſelben von der jetzt als veränderlich eingeführten Neigung α abhängig ſind. Demgemäß können die auf die einzelnen Blätter niedergeſchriebenen Schlußfolgerungen nicht ohne Weiteres auf den Reibungskoeffizienten übertragen werden.

Da die auf Blatt 6—9 (Taf. 3) gegebenen Erklärungen und Schlußfolgerungen ausreichend ſein dürften, um einen genügenden Ueberblick zu gewähren, ſo iſt hier mit

Digitized by Google

Rückſicht auf Raumerſparniß von einer Wiederholung der dort aufgeſtellten Sätze abgeſehen worden. Es wird vielmehr gebeten, in dieſer Beziehung die Notizen auf den Blättern ſelbſt nachleſen zu wollen.

Tabelle IV Anlage B enthält die Unterſuchungen über den Einfluß der Wärme auf die Ergebniſſe des Herrmann'ſchen Apparates. Die erhaltenen Werthe ſind auf Blatt 10 und 12 (Taf. 4) dargeſtellt und auf Blatt 11 findet man wiederum die Schlußfolgerungen niedergeſchrieben. Man erkennt, daß der Einfluß der Wärme auf den Reibungskoeffizienten von gleichem Grade iſt, wie der Einfluß der Geſchwindigkeiten, ſo daß die Vermuthung nahe liegt, daß die Urſache in beiden Fällen die gleiche iſt. Es wird ſchwer ſein, dieſen Zuſammenhang durch den Verſuch zu erweiſen, weil es, wie im Anfang dieſes Berichtes dargelegt, ſehr ſchwierig iſt, den wahren Wärmezuſtand der Schmierſchicht feſtzuſtellen.

Aus den vorausgehenden Darlegungen wird man die Ueberzeugung gewonnen haben, daß der Herrmann'ſche Apparat nach der Anbringung der früher beſprochenen Verbeſſerung ſehr wohl im Stande ſein wird, über die phyſikaliſchen Eigenſchaften verſchiedener Oele hinreichend ſicher feſtzuſtellende Vergleichswerthe zu liefern, daß er aber niemals dazu dienen kann, den eigentlichen Schmierwerth der unterſuchten Materialien zu ermitteln. Innerhalb der Grenzen ſeiner Wirkſamkeit vermag er einen ſehr klaren Einblick in die Vorgänge bei der Reibung zwiſchen geſchmierten Flächen zu geben, aber dieſe Ergebniſſe ſind weit davon entfernt, für die Praxis direkt verwerthbar zu ſein. Mit Rückſicht auf ſeine guten Eigenſchaften wird man ihn bei den ferneren Unterſuchungen benutzen können, um eine Kontrole für die Ergebniſſe mit der Oelprobirmaſchine zu haben. Wenn nämlich der Verſuchszapfen dieſer Maſchine mit der Zeit ſeinen Flächenzuſtand ändert, ſo würden hiervon die Verſuchsergebniſſe betroffen werden. Durch Benutzung eines Normalöles könnte man ſich über das Maß jener Zuſtandsänderungen jeder Zeit Gewißheit verſchaffen, wenn das Normalöl ſeine Eigenſchaften im Laufe der Zeit nicht gleichfalls ändert. Da der Herrmann'ſche Apparat wenig benutzt wird und leicht in gutem Zuſtand erhalten werden kann, ſo hat man in ihm ein Mittel, das Normalöl von Zeit zu Zeit einer Prüfung zu unterziehen; er kann alſo auf dieſe Weiſe zur Kontrole der großen Oelprobirmaſchine verwendet werden.

Um einen Ueberblick über das Verhalten verſchiedener Oele zum Herrmann'ſchen Apparat zu gewinnen, wurden einige der vom Verbande deutſcher Müller vorgelegten Rüböl-proben einer gleichartigen Unterſuchung unterworfen und die Ergebniſſe in Tabelle V Anlage B niedergelegt. Dieſe Ergebniſſe ſollen ſpäter noch eine Beſprechung erfahren.

Digitized by Google

Anlage A.

Zuſammenſtellung der ſtatiſtiſchen Angaben über die unterſuchten Oele.

(Fabrizirt im Jahre 1884.)

Bezeichnung	Art des Oeles	Angaben über den Fabrikationsprozeß	Angebliche Qualität	Art der in Ausſicht genommenen Verwendung	Angebliche Erfahrungen über das Verhalten im Betriebe
V. 3	Rüböl.	Aus diesjährigem ſchleſiſchem und ungariſchem Winter-Raps; 38—40 % Oel nach zweimaligem Preſſen.	Handelswaare.	Theils Speiſe-, theils Schmieröl für gröbere Maſchinentheile.	—
V. 4	Entſäuertes Rüböl — Maſchinenöl.	Aus diesjährigem ſchleſiſchem und ungariſchem Winter-Raps; 38—40 % Oel nach zweimaligem Preſſen.	—	Schmieröl für feinere Maſchinentheile.	—
V. 5	Rüböl-Vorpreſſung.	5/6 des gewonnenen Oeles iſt Vorgut-Oel.		Als Handelswaare mit 1/6 Nachgut-Oel vermiſcht.	—
V. 6	Rüböl-Nachpreſſung.	1/6 des gewonnenen Oeles. (Dürfte wohl als Reſt ohne Bodenſatz von V. 5 aufzufaſſen ſein.)	—	Mit 5/6 Vorgut-Oel als Handelswaare vermiſcht.	—
V. 7	Rüböl-Vorpreſſung.	Aus halb inländiſcher Saat, Raps und Rübſen (aus Pommern und Mecklenburg) und halb indiſchem Raps gepreßt.	—	Wird nur mit Nachpreſſung vermiſcht verwendet.	—
V. 8	Rüböl-Nachpreſſung.	Aus halb inländiſcher Saat, Raps und Rübſen (aus Pommern und Mecklenburg) und halb indiſchem Raps gepreßt.	—	Wird nur mit Vorpreſſung vermiſcht verwendet.	—
V. 10	Rüböl, raffinirt von Vor- und Nachpreſſung.	Aus halb inländiſcher Saat, Raps und Rübſen (aus Pommern und Mecklenburg) und halb indiſchem Raps gepreßt.	—	Zum Schmieren feinerer Maſchinentheile und zum Brennen.	Beſſer und billiger wie Baum- und Mineral-Oel.

Digitized by Google

Anlage B.

Ergebniſſe der Unterſuchungen mit dem Herrmann'ſchen Oelprobir-Apparat.

Vorbemerkungen. Der Apparat wird von dem Vorgelege der Jähns'ſchen Oelprobirmaſchine aus durch Schnurlauf angetrieben. Die benutzten Vorgelegeſtufen ſind in den Tabellen mit I, II und III bezeichnet, das kleine Vorgelege für den Antrieb des Apparates (Fig. 7, S. 35) hat 15 Geſchwindigkeitsſtufen, welche mit den Zahlen 1—15 bezeichnet wurden. Meſſungen am 24. Oktober 1885 haben folgende Verhältniſſe ergeben.

Stufenſcheibe Nr.	Vorgelege Nr.	Umdrehungszahl für 1 Minute U	Umdrehungszahl für 1 Sekunde u	Sekunden für 1 Umdrehung z	Umfangsgeſchwindigkeit der Spindel v = m/sec.
II	1	172	2,87	0,348	0,230
„	2	116	1,94	0,515	0,155
„	3	90	1,50	0,667	0,120
„	4	67	1,12	0,893	0,089
„	5	53	0,88	1,136	0,071
„	6	30	0,50	2,000	0,040
„	7	21	0,35	2,857	0,028
„	8	16	0,27	3,704	0,021
„	9	12	0,20	5,000	0,016
„	10	9	0,11	11,111	0,012

Die vorhandenen Lagerſchalen ſind wie folgt bezeichnet:

A = Meſſingſchale,
B = Stahlſchale,
C = Gußeiſenſchale.

Mit t iſt die Luftwärme bezeichnet, mit T diejenige der Spindel.

Die Unterſuchungen ſind in der Zeit vom 1. Juli bis 15. Auguſt 1885 durch den Aſſiſtenten, Ingenieur Rudert, ausgeführt. Für alle Verſuche iſt das Rüböl V_8 benutzt worden.

I. Unterſuchungen über den Gleichförmigkeitsgrad der Spindeloberfläche und den Einfluß der Geſchwindigkeit auf die Ergebniſſe des Apparates.

Bei der unter Nr. 1 verzeichneten Verſuchsreihe wurde das Lager bei jedem Verſuch um 10 Theilſtriche (Millimeter) tiefer eingeſetzt, ſodaß der zurückgelegte Weg jedesmal um 10 mm kürzer wurde; für letzteren wurden anfangs die erforderlichen Umdrehungen gezählt. Da ſich hierbei die Ungleichförmigkeiten nicht genügend ſicher erkennen ließen, wurde unter Verminderung des Neigungswinkels α das Lager jedesmal vom oberen Spindelende laufen gelaſſen, wobei vom Beobachter die gezählten Umdrehungszahlen aufgerufen wurden, ſobald der Nullpunkt des Nonius einem Zentimeterſtriche gegenüberſtand. Die Zahlen wurden von einer zweiten Perſon niedergeſchrieben; es konnten jedesmal nur ganze Umdrehungen gezählt werden, indem man einen an dem Mitnehmer angebrachten Vorſprung gegen einen Finger der rechten Hand ſtoßen ließ und die Berührungen zählte.

Vergleiche die Schaulinien auf Taf. 1.

Digitized by Google

Laufende Nr. Verſuchs-Nr. Datum	Umdrehungsgeſchwindigkeit der Spindel. Wärme	Lagerſchalen und Belaſtungen. g	Zurückgelegter Weg vom Skalenpunkt n bis n.	Beobachtungsreihen I U	I △U	II U	II △U	III U	III △U	IV U	IV △U	Differenzen in Summe	Differenzen in Mittel	Bemerkungen.
1	II	A	170	39	—	39	—	39	—			—	—	Spindelneigung α = 2°
(18)	10	800	160	37	2	37	2	37	2			6	2,0	Lagerlauf nach rechts.
2 VII	v = 0,012		150	34	3	34	3	34	3			9	3,0	
	t = T = 24°		140	30	4	30	4	30	4			12	4,0	
			130	27	3	27	3	28	2			8	2,7	
			120	25	2	25	2	25	3			7	2,3	
			110	22,5	2,5	23	2	23	2			6,5	2,2	
			100	21	1,5	21	2	21	2			5,5	1,8	
			90	19	2	18	3	19	2			7	2,3	
			80	17	2	17	1	17	2			5	1,7	
			70	14	3	14	3	14	3			9	3,0	
			60	13	1	12	2	13	1			4	1,3	
			50	11	2	10	2	11	2			6	2,0	
			40	9	2	8	2	8	3			7	2,3	
			30	6	3	6	2	6	2			7	2,3	
			20	4,5	1,5	4	2	4,5	1,5			5	1,7	
			10	2,5	2	2,5	1,5	2,5	2			5,5	1,8	
			0	—	2,5	—	2,5	—	2,5			7,5	2,5	
2	II	A	170	0	—	0	—	0	—	0	—	—	—	Spindelneigung α = 3°
(19)	10	800	160	6	6	5,5	5,5	6	6	6	6	23,50	5,88	Lagerlauf nach rechts.
2 VII	v = 0,012		150	11	5	10,5	5	11	5,25	10,5	4,5	19,75	4,94	
	t = T = 24°		140	15,5	4,5	14,25	3,75	15	4	15	4,5	16,75	4,19	
			130	19,5	4,0	17,5	3,25	19	4	18	3	14,25	3,56	
			120	22	2,5	19,5	2	22	3	21	3	10,50	2,62	
			110	25,5	3,5	23	3,5	25,25	3,25	24,5	3,5	13,75	3,44	
			100	28	2,5	26	3	28	2,75	27	2,5	10,75	2,69	
			90	30,5	2,5	28,5	2,5	31	3	30	3	11,00	2,85	
			80	33	2,5	31	2,5	33	2	32	2	9,00	2,25	
			70	35	2	32,5	1,5	35	2	34	2	7,50	1,88	
			60	37	2	35	2,5	37,5	2,5	36	2	9,00	2,25	
			50	39	2	36,5	1,5	39	1,5	38,5	2,5	7,50	1,88	
			40	41,5	2,5	39	2,5	41,5	2,5	41	2,5	10,00	2,50	
			30	44	2,5	41,5	2,5	44	2,5	43,5	2,5	10,00	2,50	
			20	46,5	2,5	44	2,5	47	3	45,5	2	10,00	2,50	
			10	49	2,5	46	2	49	2	47,5	2	8,50	2,12	
			0	52	3	48,5	2,5	51,5	2,5	50	2,5	10,50	2,62	
3	II	A	0	0	—	0	—	0	—	0	—	—	—	Spindelneigung α = 3°
(20)	10	800	10	4	4	4	4	4	4	4,5	4,5	16,5	4,12	Lagerlauf nach links.
VII	v = 0,012		20	7,5	3,5	7	3	7,5	3,5	8	3,5	13,5	3,38	
	t = T = 24°		30	10,5	3	10	3	10	2,5	11	3	11,5	2,88	
			40	13	2,5	13	3	12,5	2,5	14	3	11,0	2,75	
			50	15	2	15	2	15	2,5	16	2	8,5	2,12	
			60	18	3	17,5	2,5	17	2	18	2	9,5	2,38	
			70	20	2	20	2,5	20	3	21	3	10,5	2,62	
			80	22	2	23	3	22	2	24	3	10,0	2,50	
			90	25,5	3,5	26	3	25	3	27	3	12,5	3,12	
			100	29	3,5	29	3	28,5	3,5	30	3	13,0	3,25	
			110	31,5	2,5	32	3	31	2,5	33	3	11,0	2,75	

Digitized by Google

Laufende Nr. Verſuchs-Nr. Datum	Umdrehungsgeſchwindigkeit der Spindel. Wärme	Lagerſchalen und Belaſtungen.	Zurückgelegter Weg vom Skalenpunkt n bis n,	Beobachtungsreihen I U	I △U	II U	II △U	III U	III △U	IV U	IV △U	Differenzen in Summe	Differenzen in Mittel	Bemerkungen.
			120	34,5	3	34,5	2,5	33,5	2,5	35,5	2,5	10,5	2,62	
			130	37	2,5	37,5	3	36,5	3	38,5	3	11,5	2,88	
			140	40	3	40	2,5	39,5	3	41,5	3	11,5	2,88	
			150	43	3	43	3	42	2,5	44	2,5	11,0	2,75	
			160	45	2	45	2	44	2	46	2	8,0	2,00	
			170	47	2	47	2	46	2	48,5	2,5	8,5	2,12	
4	II	A	170	0	—	0	—	0	—	0	—	—	—	Spindelneigung $\alpha = 3'$
(21)	7	800	160	7,5	7,5	6	6	6	6	7,5	7,5	27,0	6,75	Lagerlauf nach rechts.
VII	$v = 0{,}028$		150	14	6,5	13	7	13	7	14	6,5	27,0	6,75	
	$t = T = 24°$		140	19,5	5,5	18	5	18	5	19	5	20,5	5,12	
			130	24,5	5,0	22	4	24	6	23,5	4,5	19,5	4,88	
			120	30	5,5	28	6	28,5	4,5	30	6,5	22,5	5,63	
			110	35	5	32	4	33	4,5	35	5	18,5	4,62	
			100	40,5	4,5	37	5	38	5	40	5	19,5	4,88	
			90	45	4,5	41	4	42	4	44,5	4,5	17,0	4,25	
			80	49	4	46	5	46,5	4,5	48,5	4	17,5	4,38	
			70	52	3	48	2	49	2,5	51,5	3	10,5	2,62	
			60	56	4	53	5	53,2	4,5	56	4,5	18,0	4,50	
			50	60	4	56	3	57,5	4	60	4	15,0	3,75	
			40	64	4,0	60	4,0	63	5,5	65	5,0	18,5	4,62	
			30	68	4,0	64	4,0	66,5	3,5	69	4,0	15,5	3,88	
			20	7,25	4,5	68	4,0	70,5	4,0	73,5	4,5	17,0	4,25	
			10	76	3,5	71	3,0	74	3,5	78	4,5	14,5	3,62	
			0	80	4,0	75	4,0	78	4,0	82	4,0	16,0	4,00	
5	II	A	0	0	—	0	—	0	—	0	—	—	—	Spindelneigung $\alpha = 3'$
(22)	7	800	10	8	8,0	6	6,0	6	6,0	5	5,0	25,0	6,25	Lagerlauf nach links.
VII	$v = 0{,}028$		20	16	8,0	12	6,0	11,5	5,5	12	7,0	26,5	6,62	
	$t = T = 24°$		30	21	5,0	18	6,0	16	4,5	16	4,0	19,5	4,88	
			40	25	4,0	21	3,0	20,5	4,5	20	4,0	15,5	3,88	
			50	29,5	4,5	25	4,0	24,5	4,0	24	4,0	16,5	4,12	
			60	34	4,5	29	4,0	28	3,5	28	4,0	16,0	4,00	
			70	39	5,0	33,5	4,5	33	5,0	33	5,0	19,5	4,88	
			80	44	5,0	38,5	5,0	38	5,0	37	4,0	19,0	4,75	
			90	49	5,0	43	4,5	42,5	4,5	43	6,0	20,0	5,00	
			100	54	5,0	48	5,0	47	4,5	48	5,0	19,5	4,88	
			110	60	6,0	53,5	5,5	52	5,0	52	4,0	20,5	5,01	
			120	65	5,0	57	3,5	56	4,0	57,5	5,5	18,0	4,50	
			130	70	5,0	61,5	4,5	61	5,0	62	4,5	19,0	4,75	
			140	74,5	4,5	65,5	4,0	65	4,0	67	5,0	17,5	4,38	
			150	79,5	5,0	70	4,5	69	4,0	71	4,0	17,5	4,38	
			160	83	3,5	74	4,0	73	4,0	74	3,0	14,5	3,63	
			170	86	3,0	77	3,0	76	3,0	79	5,0	14,0	3,50	

Die bei den Verſuchen 19 bis 22 erhaltenen Werthe laſſen erkennen, daß die Ungleichförmigkeiten der Spindeloberfläche immer noch nicht behoben ſind. Um einen gleichmäßigeren Gang zu erzielen, wird das Meſſinglager nochmals mit Polirroth auf der Spindel eingeſchliffen. Alsdann werden die Verſuche in gleicher Weiſe durchgeführt wie unter 19 bis 22. Für jede Beobachtungsreihe werden 5 Tropfen Oel friſch aufgegeben. Die in der Oelſchicht ſich bildende Spur der Lagerſchale zeigt einen regelmäßigeren Verlauf als früher. Die Schalenfläche iſt faſt vollſtändig aufgeſchliffen.

Laufende Nr. Versuchs-Nr. Datum	Umdrehungsgeschwindigkeit der Spindel. Wärme	Lagerschalen und Belastungen. ε	Zurückgelegter Weg vom Skalenpunkt n bis n,	Beobachtungsreihen I U	I △U	II U	II △U	III U	III △U	IV U	IV △U	Differenzen in Summe	Differenzen in Mittel	Bemerkungen.
6 (23) VII	II 1 v = 0,200 t = T = 24°	A 800	0	0		0		0						Spindelneigung α = 9' Lagerlauf nach links.
			10	18	18	18	18	18	18			54	18,0	
			20	43	25	44	26	43	25			76	25,3	
			30	64	21	66	22	65	22			65	21,7	Geringes Pendeln des Lagers.
			40	81	17	83	17	82	17			51	17,0	
			50	98	17	100	17	98	16			50	16,7	
			60	113	15	116	16	113	15			46	15,8	
			70	127	14	131	15	130	17			46	15,3	
			80	145	18	147	16	147	17			51	17,0	
			90	163	18	165	18	163	16			52	17,3	
			100	180	17	183	18	180	17			52	17,3	
			110	200	20	198	15	197	17			52	17,3	
			120	216	16	214	16	212	15			47	15,7	
			130	233	17	230	16	228	16			49	16,3	
			140	249	16	247	17	243	15			48	16,0	
			150	266	17	263	16	258	15			48	16,0	
			160	280	14	277	14	272	14			42	14,0	
			170	293	13	291	14	284	12			39	13,0	
7 (24) VII	II 2 v = 0,155 t = T = 24°	A 800	0	0		0		0						Spindelneigung α = 3' Lagerlauf nach links.
			10	14	14	15	15	14	14			43	14,3	
			20	30	16	33	18	33	19			52	17,3	
			30	47	17	52	19	53	20			56	18,7	Geringes Pendeln des Lagers.
			40	60	13	66	14	67	14			41	13,7	
			50	74	14	79	13	80	13			40	13,7	
			60	86	12	90	11	93	13			36	12,0	
			70	100	14	103	13	107	14			41	13,7	
			80	111	11	117	14	120	13			38	12,7	
			90	126	15	130	13	133	13			41	13,7	
			100	140	14	143	13	147	14			41	13,7	
			110	153	13	157	14	160	13			40	13,3	
			120	167	14	172	15	173	13			42	14,0	
			130	182	15	185	13	187	14			42	14,0	
			140	197	15	200	15	203	16			46	15,3	
			150	210	13	213	13	217	14			40	13,3	
			160	221	11	227	14	230	13			38	12,7	
			170	234	13	237	10	240	10			33	11,0	
8 (25) VII	II 3 v = 0,120 t = T = 24°	A 800	0	0		0		0						Spindelneigung α = 3' Lagerlauf nach links.
			10	11	11	12	12	13	13			36	12,0	
			20	24	13	26	14	27	14			44	13,7	
			30	38	14	37	11	40	13			38	12,7	Geringes Pendeln des Lagers.
			40	48	10	48	11	49	9			30	10,0	
			50	55	7	57	9	60	11			27	9,0	
			60	65	10	67	10	70	10			30	10,0	
			70	74	9	76	9	80	10			28	9,3	
			80	83	9	86	10	91	11			30	10,0	

Digitized by Google

Laufende Nr. Verſuchs-Nr. Datum	Umdrehungsgeſchwindigkeit der Spindel. Wärme	Lagerſchalen und Belaſtungen. g	Zurückgelegter Weg vom Skalenpunkt n bis n_1	Beobachtungsreihen I U	I △U	II U	II △U	III U	III △U	IV U	IV △U	Differenzen in Summe	Differenzen in Mittel	Bemerkungen.
			90	95	12	97	11	102	11			34	11,3	
			100	105	10	107	10	113	11			31	10,3	
			110	115	10	117	10	123	10			30	10,0	
			120	128	13	130	13	135	12			38	12,7	
			130	138	10	142	12	146	11			33	11,0	
			140	150	12	153	11	157	11			34	11,3	
			150	162	12	163	10	169	12			34	11,3	
			160	172	10	173	10	178	9			29	9,7	
			170	181	9	182	9	188	10			28	9,3	
9	II	A	0	0		0		0						Spindelneigung $\alpha = 3'$
(26)	4	800	10	9	9	9	9	9	9			27	9,0	Lagerlauf nach links.
VII	$v = 0{,}089$		20	20	11	20	11	20	11			33	11,0	
	$t = T = 24°$		30	30	10	30	10	30	10			30	10,0	
			40	40	10	40	10	40	10			30	10,0	
			50	48	8	49	9	49	9			26	8,7	
			60	56	8	55	6	56	7			21	7,0	
			70	63	7	63	8	64	8			23	7,7	
			80	72	9	72	9	73	9			27	9,0	
			90	80	8	81	9	81	8			25	8,3	
			100	87	7	90	9	90	9			25	8,3	
			110	97	10	99	9	100	10			29	9,7	
			120	105	8	107	8	107	7			23	7,7	
			130	114	9	115	8	117	10			27	9,0	
			140	121	7	124	9	125	8			24	8,0	
			150	130	9	132	8	134	9			26	8,7	
			160	137	7	139	7	140	6			20	6,7	
			170	143	6	147	8	147	7			21	7,0	
10	II	A	0	0		0		0						Spindelneigung $\alpha = 3'$
(27)	5	800	10	7	7	6	6	7	7			20	6,7	Lagerlauf nach links.
VII	$v = 0{,}071$		20	15	8	15	9	14	7			24	8,0	
	$t = T = 24°$		30	23	8	22	7	21	7			22	7,3	
			40	30	7	29	7	28	7			21	7,0	
			50	35	5	35	6	34	6			17	5,7	
			60	41	6	41	6	41	7			19	6,3	
			70	47	6	48	7	47	6			19	6,3	
			80	54	7	54	6	53	6			19	6,3	
			90	60	6	60	6	60	7			19	6,3	
			100	65	5	65	5	60	6			16	5,3	
			110	72	7	73	8	73	7			22	7,3	
			120	80	8	79	6	79	6			20	6,7	
			130	85	5	85	6	85	6			17	5,7	
			140	90	5	91	6	92	7			18	6,0	
			150	98	8	97	6	97	5			19	6,3	
			160	103	5	103	6	103	6			17	5,7	
			170	109	6	108	5	109	6			17	5,7	

Digitized by Google

Laufende Nr. Verſuchs-Nr. Datum	Umdrehungsgeſchwindigkeit der Spindel. Wärme	Lagerſchalen und Belaſtungen. g	Zurückgelegter Weg vom Skalenpunkt n bis n_1	Beobachtungsreihen I U	I ΔU	II U	II ΔU	III U	III ΔU	IV U	IV ΔU	Differenzen in Summe	Differenzen in Mittel	Bemerkungen.
11 (28) VII	II 6 v = 0,040 t = T = 25°	A 800	0	0		0		0						Spindelneigung α = 3′ Lagerlauf noch ſtill.
			10	3	3	3,5	3,5	3	3			9,5	3,2	
			20	8	5	8	4,5	8	5			14,5	4,8	
			30	12	4	13	5	13	5			14	4,7	
			40	15	3	16	3	17	4			10	3,8	
			50	19	4	20	4	21	4			12	4,0	
			60	23	4	23	4	23	2			9	3,0	
			70	26	3	27	4	28	5			12	4,0	
			80	29	3	30	3	31	3			9	3,0	
			90	33	4	34	4	35	4			12	4,0	
			100	36	3	38	4	38	3			10	3,3	
			110	40	4	41	3	43	5			12	4,0	
			120	44	4	45	4	46	3			11	3,7	
			130	47	3	48	3	50	4			10	3,3	
			140	51	4	52	4	54	4			12	4,0	
			150	54	3	55	3	58	4			10	3,3	
			160	58	4	59	4	60	2			10	3,3	
			170	60	2	61	2	64	4			8	2,7	
12 (29) VII	II 7 v = 0,028 t = T = 25°	A 800	0	0		0		0						Spindelneigung α = 3′ Lagerlauf noch ſtill.
			10	3,5	3,5	4	4	4	4			11,5	3,8	
			20	8	4,5	9	5	8,5	4,5			14	4,7	
			30	13	5	13,5	4,5	13	4,5			14	4,7	
			40	17	4	17,5	4	16,5	3,5			11,5	3,8	
			50	20	3	20,5	3	19,5	3			9	3,0	
			60	23,5	3,5	23,5	3	23	3,5			10	3,3	
			70	26,5	3	27	3,5	26	3			9,5	3,2	
			80	29,5	3	30	3	29	3			9	3,0	
			90	32,5	3	32,5	2,5	32	3			8,5	2,8	
			100	35	2,5	35,5	3	34,5	2,5			8	2,7	
			110	38	3	38	2,5	37,5	3			8,5	2,8	
			120	41	3	41	3	40	2,5			8,5	2,8	
			130	43	2	44	3	43	3			8	2,7	
			140	46,5	3,5	47	3	45,5	2,5			9	3,0	
			150	50	3,5	50	3	49,5	4			10,5	3,5	
			160	52,5	2,5	52,5	2,5	51	1,5			6,5	2,2	
			170	55	2,5	55	2,5	53,5	2,5			7,5	2,5	
13 (30) VII	II 4 v = 0,059 t = T = 25°	A 800	170	0		0		0						Spindelneigung α = 3′ Lagerlauf noch ſtill.
			160	12	12	11	11	9	9			32	10,7	
			150	27	15	23	12	21	12			39	13,0	
			140	38	11	33	10	32	11			32	10,7	
			130	48	10	43	10	42	10			30	10,0	
			120	58	10	53	10	52	10			30	10,0	
			110	67	9	63	10	62	10			29	9,7	
			100	76	9	73	10	72	10			29	9,7	
			90	84	8	81	8	80	8			24	8,0	

Digitized by Google

Laufende Nr. Verſuchs-Nr. Datum	Umdrehungsgeſchwindigkeit der Spindel. Wärme	Lagerſchalen und Belaſtungen. g	Zurückgelegter Weg vom Stalenpunkt n bis n,	Beobachtungsreihen I U	I △U	II U	II △U	III U	III △U	IV U	IV △U	Differenzen in Summe	Differenzen in Mittel	Bemerkungen.
			80	93	9	90	9	88	8			26	8,7	
			70	101	8	97	7	95	7			22	7,3	
			60	107	6	104	7	103	8			21	7,0	
			50	117	10	112	8	110	7			25	8,3	
			40	124	7	120	8	117	7			22	7,3	
			30	133	9	128	8	126	9			26	8,7	
			20	142	9	136	8	135	9			28	8,7	
			10	148	6	142	6	142	7			19	6,3	
			0	157	9	150	8	150	8			25	8,3	
14	II	A	170	0		0		0						Spindelneigung $\alpha = 3'$
(31)	5	800	160	7	7	8	8	8	8			23	7,7	Lagerlauf nach rechts.
VII	v = 0,071		150	17	10	19	11	21	13			34	11,3	
	t = T = 25°		140	28	11	29	10	31	10			31	10,3	
			130	36	8	38	9	40	9			26	8,7	
			120	43	7	46	8	48	8			23	7,7	
			110	53	10	54	8	58	10			28	9,3	
			100	61	8	63	9	64	6			23	7,7	
			90	70	9	70	7	73	9			25	8,3	
			80	76	6	76	6	78	5			17	5,7	
			70	83	7	83	7	85	7			21	7,0	
			60	89	6	89	6	93	8			20	6,7	
			50	95	6	95	6	100	7			19	6,3	
			40	100	5	102	7	107	7			19	6,3	
			30	107	7	107	5	115	8			20	6,7	
			20	113	6	115	8	121	6			20	6,7	
			10	120	7	121	6	127	6			19	6,3	
			0	126	6	127	6	135	8			20	6,7	
15	II	A	170	0		0		0						Spindelneigung $\alpha = 3$
(32)	6	800	160	5	5	5,5	5,5	5	5			15,5	5,2	Lagerlauf nach rechts.
VII	v = 0,040		150	12	7	12	6,5	11	6			19,5	6,5	
	t = T = 25°		140	19	7	18	6	17	6			19	6,3	
			130	25	6	23	5	23	6			17	5,7	
			120	30	5	27	4	28	5			14	4,7	
			110	35	5	32	5	33	5			15	5,0	
			100	40	5	37	5	38	5			15	5,0	
			90	44	4	41	4	43	5			13	4,3	
			80	48	4	45	4	47	4			12	4,0	
			70	52	4	49	4	51	4			12	4,0	
			60	54	2	53	4	55	4			10	3,3	
			50	59	5	57	4	59	4			13	4,3	
			40	62	3	60	3	63	4			10	3,3	
			30	66	4	64	4	67	4			12	4,0	
			20	68	2	68	4	71	4			10	3,3	
			10	74	6	72	4	75	4			14	4,7	
			0	77	3	75	3	78	3			9	3,0	

Digitized by Google

Laufende Nr. Verſuchs-Nr. Datum	Umdrehungsgeſchwindigkeit der Spindel. Wärme	Lagerſchalen und Belaſtungen. g	Zurückgelegter Weg vom Stutenpunkt n bis n_1	Beobachtungsreihen I U	I △U	II U	II △U	III U	III △U	IV U	IV △U	Differenzen in Summe	Differenzen in Mittel	Bemerkungen.
16	II	A	170	0		0		0						Spindelneigung $\alpha = 7$
(33)	7	800	160	3,5	3,5	4	4	4	4			11,5	3,8	Lagerlauf noch rein.
VII	v = 0,028		150	9	5,5	9	5	8	4			14,5	4,8	
	t = T = 25°		140	13,5	4,5	13,5	4,5	12	4			13	4,3	
			130	18	4,5	17,5	4	16	4			12,5	4,2	
			120	21	3	21,5	4	20	4			11	3,7	
			110	25	4	25	3,5	23	3			10,5	3,5	
			100	28,5	3,5	29	4	27	4			11,5	3,8	
			90	32	3,5	33	4	30	3			10,5	3,5	
			80	35	3	36	3	33	3			9	3,0	
			70	37,5	2,5	39	3	35	2			7,5	2,8	
			60	40	2,5	41	2	38	3			7,5	2,8	
			50	43	3	44	3	41	3			9	3,0	
			40	45	2	47	3	44	3			8	2,7	
			30	48	3	50	3	47	3			9	3,0	
			20	51	3	53	3	50	3			9	3,0	
			10	53,5	2,5	56	3	52	2			7,5	2,8	
			0	56	2,5	58	2	54,5	2,5			7,0	2,7	
17	II	A	170	0		0		0						Spindelneigung $\alpha = 7$
(34)	8	800	160	2,5	2,5	3	3	3	3			8,5	2,8	Lagerlauf noch rein.
VII	v = 0,021		150	6	3,5	6	3	7	4			10,5	3,5	
	t = T = 25°		140	9	3	10	4	10,5	3,5			10,5	3,5	
			130	13	4	13	3	13,5	3			10	3,3	
			120	15	2	15	2	16	2,5			6,5	2,2	
			110	18	3	18	3	19	3			9	3,0	
			100	21	3	21	3	22	3			9	3,0	
			90	23	2	23	2	24	2			6	2,0	
			80	25	2	25	2	26,5	2,5			6,5	2,2	
			70	28	3	28	3	28,5	2			8	2,7	
			60	30	2	30	2	30,5	2			6	2,0	
			50	32	2	32	2	33	2,5			6,5	2,2	
			40	34,5	2,5	34	2	35	2			6,5	2,2	
			30	36	1,5	36	2	37	2			5,5	1,8	
			20	38,5	2,5	38	2	39	2			6,5	2,2	
			10	40	1,5	40	2	41	2			5,5	1,8	
			0	42	2	41	3	43	2			7	2,3	
18	II	A	170	0		0		0						Spindelneigung $\alpha = 7$
(35)	9	800	160	2,5	2,5	2	2	3	3			7,5	2,5	Lagerlauf noch rein.
VII	v = 0,016		150	5	2,5	5	3	6	3			8,5	2,8	
	t = T = 25°		140	7,5	2,5	7	2	7,5	1,5			6	2,0	
			130	10	2,5	10	3	11	3,5			9	3,0	
			120	12	2	12	2	13,5	2,5			6,5	2,2	
			110	14	2	14	2	15	1,5			5,5	1,8	
			100	16	2	16	2	17,5	2,5			6,5	2,2	
			90	17,5	1,5	17	1	19,5	2			4,5	1,5	

Digitized by Google

Laufende Nr. Verſuchs-Nr. Datum	Umdrehungsgeſchwindigkeit der Spindel. Wärme	Lagerſchalen und Belaſtungen. g	Zurückgelegter Weg vom Skalenpunkt n bis n,	Beobachtungsreihen I U	I △U	II U	II △U	III U	III △U	IV U	IV △U	Differenzen in Summe	Differenzen in Mittel	Bemerkungen.
			80	19	1,5	19	2	21,5	2			5,5	1,8	
			70	21	2	20	1	23	1,5			4,5	1,5	
			60	23	2	22	2	25	2			6	2,0	
			50	24	1,5	23	1	26	1			3,5	1,2	
			40	25	1	25	2	29	3			6	2,0	
			30	26,5	1,5	26	1	30,5	1,5			4	1,3	
			20	28	1,5	28	2	32	1,5			5	1,7	
			10	30	2	29	1	33	1			4	1,3	
			0	31	1	30,5	1,5	34	1			3,5	1,2	
19	II	A	170	0		0		0						Spindelneigung $\alpha = 3^{0}$
(36)	10	800	160	2	2	1,5	1,5	2	2			5,5	1,8	Lagerlauf nach rechts.
VII	v = 0,012		150	4	2	3,5	2	3,5	1,5			5,5	1,8	
	t = T = 25°		140	6	2	6	2,5	5,5	2			6,5	2,2	
			130	8	2	8	2	7,5	2			6	2,0	
			120	10	2	10	2	9	1,5			5,5	1,8	
			110	12	2	12	2	10,5	1,5			5,5	1,8	
			100	14	2	13,5	1,5	12	1,5			5	1,7	
			90	16	2	15	1,5	13,5	1,5			5	1,7	
			80	17,5	1,5	16,5	1,5	15	1,5			4,5	1,5	
			70	19	1,5	18	1,5	16	1			4	1,3	
			60	20,5	1,5	19,5	1,5	17	1			4	1,3	
			50	21,5	1	21	1,5	18	1			3,5	1,2	
			40	23	1,5	22,5	1,5	20	2			5	1,7	
			30	24,5	1,5	23,5	1	21	1			3,5	1,2	
			20	26	1,5	25	1,5	22	1			4	1,3	
			10	27	1	26	1	23,5	1,5			3,5	1,2	
			0	28,5	1,5	27	1	24,5	1			3,5	1,2	

Bei den Geſchwindigkeitsſtufen 8, 9 und 10, Lagerlauf nach links, tritt Gleiten und Stehenbleiben des Lagers ein. Bei den Geſchwindigkeitsſtufen 1, 2 und 3, Lagerlauf nach rechts, wird der Verſuch wegen des Pendelns des Lagers unausführbar.

Digitized by Google

II. Unterſuchung über den Einfluß der Oelmenge auf die Verſuchsergebniſſe.

Verſuchsausführung. Für jede Verſuchsreihe zu je 3 Beobachtungen wurde die Spindel gereinigt und von Neuem mit n Tropfen Oel verſorgt.

Verſuchsergebniſſe.

1. Neigungswinkel $\alpha = 20$, Lagerlauf nach rechts $\frac{\text{II}}{3}\,\frac{\text{A}}{800}$ $v = 0{,}120$ $t = T = 25°$

Reihe	1	je 4	Tropfen	35; 35; 34	Umdrehungen	} im Mittel 33,8
„	2	„ 4	„	33; 33; 33	„	
„	3	„ 4	„	34; 34; 33	„	
„	4	„ 5	„	34; 34; 35	„	} im Mittel 34,4
„	5	„ 5	„	34; 34; 33	„	
„	6	„ 5	„	35; 35; 35	„	
„	7	„ 6	„	34; 33; 33	„	} im Mittel 33,4.
„	8	„ 6	„	34; 33; 33	„	
„	9	„ 6	„	34; 34; 33	„	

2. Neigungswinkel $\alpha = 1°$, Lagerlauf nach rechts $\frac{\text{II}}{3}\,\frac{\text{A}}{800}$ $v = 0{,}120$ $t = T = 25°$

Reihe	1	je 4	Tropfen	10,5; 10,5; 10,5	Umdrehungen	} im Mittel 11,0
„	2	„ 4	„	11,5; 11,0; 11,0	„	
„	3	„ 4	„	11,0; 11,5; 11,25	„	
„	4	„ 5	„	11,5; 11,5; 11,5	„	} im Mittel 11,2
„	5	„ 5	„	11,25; 11,25; 11,25	„	
„	6	„ 5	„	10,0; 10,75; 10,75	„	
„	7	„ 6	„	11,0; 10,75; 10,75	„	} im Mittel 11,1.
„	8	„ 6	„	11,25; 11,25; 11,0	„	
„	9	„ 6	„	11,5; 11,25; 11,5	„	

III. Unterſuchung über den Einfluß der Belaſtung bei verſchiedenen Geſchwindigkeiten und Neigungswinkeln.

Verſuchsausführung. Bei den nachſtehend aufgeführten Verſuchen wurde die Zahl der Umdrehungen gezählt, welche nöthig war, um das Lager von dem Theilſtrich 0 bis zum Theilſtrich 170 zu verſchieben oder umgekehrt.

Vergleiche die Schaulinien auf Blatt Nr. 4, 5, 7 bis 10, Taf. 2—4.

Digitized by Google

Laufende Nr. Verſuchs-Nr. Datum	Umdrehungsgeſchwindigkeit der Spindel. Wärme	Lagerſchale und Belaſtungen g		Zahl der Umdrehungen der Spindel zwiſchen den Theilſtrichen 0 und 170 bei einer Spindelneigung nach links um 3¹	links um 20¹	links um 40¹	rechts um 3¹	rechts um 20¹	rechts um 40¹	Bemerkungen
20 (37) VII	II 1—10 v = 0,220 v 10 = 0,012	A 200		Belaſtung zu gering						
21 (38) VII	II 1 v = 0,220 t = T = 24°	A 400		ſchlägt			ſchlägt			
22 (39) VII	II 2 v = 0,155 t = T = 24°	A 400		356* 376* 354*	ſchlägt gering					* ſchlägt gering
			Summe	1086						
			Mittel	362						
23 (40) VII	II 3 v = 0,120 t = T = 24	A 400		280* 300 300	39** 39 39	20** 19 19				* beſſer als bei 22 ** gleichmäßig
			Summe	880	87	58				
			Mittel	293,3	39	19,3				
24 (41) VII	II 4 v = 0,089 t = T = 24°	A 400		220 220 230	32* 31 32	15* 15 15				* gleichmäßig
			Summe	670	95	43				
			Mittel	223,3	31,7	14,3				
25 (42) VII	II 5 v = 0,071 t = T = 24°	A 400		195* 182 192	27* 25 26	12* 12 11				* ſehr gleichmäßig
			Summe	569	78	35				
			Mittel	189,7	26	11,7				
26 (43) VII	II 6 v = 0,040 t = T = 24°	A 400		105* 110 114	15* 15 15	8** 7 7				* ſehr gleichmäßig ** gleichmäßig
			Summe	329	45	22				
			Mittel	109,7	15	7,3				
27 (44) VII	II 7 v = 0,028 t = T = 25°	A 400		80 68 69	10 10 10	ungleichmäßig				
			Summe	217	30					
			Mittel	72,3	10					
28 (45) VII	II 8 v = 0,021 t = T = 25°	A 400		*	**					* bleibt an einzelnen Stellen ſtehen ** gleitet und bleibt ſtehen

Digitized by Google

Laufende Nr. Verſuchs-Nr. Datum	Umdrehungsgeſchwindigkeit der Spindel. Wärme	Lagerſchale und Belaſtungen g		Zahl der Umdrehungen der Spindel zwiſchen den Theilſtrichen 0 und 170 bei einer Spindelneigung nach links um 3°	2°	4°	rechts um 3°	2°	4°	Bemerkungen
29	II	A		—	—	—				wie bei 28
(46)	9	400								
VII	v = 0,046									
	t = T = 25°									
30	II	A		—	—	—				wie bei 28
(47)	10	400								
VII	v = 0,012									
	t = T = 25°									
31	II	A		*	42**	ungleichmäßig				* ſchlägt
(48)	1	600			43					** ſchlägt gering
VII	v = 0,230				43					
	t = T = 25°		Summe	—	128	—				
			Mittel	—	42,7	—				
32	II	A		*	37**	ungleichmäßig				* ſchlägt
(49)	2	600			37					** gleichmäßig
VII	v = 0,155				37					
	t = T = 25°		Summe	—	81	—				
			Mittel	—	37	—				
33	II	A		*	31	15*				* ſchlägt gering
(50)	3	600			30	14				
VII	v = 0,120				30	14				
	t = T = 25°		Summe	—	91	43				
			Mittel	—	30,3	14,3				
34	II	A		168*	24**	11				* ſchlägt gering
(51)	4	600		161	24	12				** ſehr gleichmäßig
VII	v = 0,089			165	23	11				
	t = T = 25°		Summe	494	71	34				
			Mittel	164,7	23,7	11,3				
35	II	A		130*	19**	9				* u. ** ſehr gleichmäßig
(52)	5	600		131	19	9				
VII	v = 0,071			138	19	9				
			Summe	399	57	27				
			Mittel	133	19	9				
36	II	A		82	12	6				wie bei 35
(53)	6	600		82	11	6				
VII	v = 0,040			82	11	6				
			Summe	246	34	18				
			Mittel	82	11,3	6				
37	II	A		55	— *	ungleichmäßig				* gleitet
(54)	7	600		54	—					
VII	v = 0,028			54	—					
			Summe	163						
			Mittel	54,3						
38	II	A		wegen ungleichmäßigen Ganges und Gleitens sind keine Ergebniſſe erzielt.						
(55)	8, 9, 10	600								
VII										

Digitized by Google

Laufende Nr. Versuchs-Nr. Datum	Umdrehungsgeſchwindigkeit der Spindel. Wärme	Lagerſchale und Belaſtungen g		Zahl der Umdrehungen der Spindel zwischen den Theilſtrichen 0 und 170 bei einer Spindelneigung nach links um 3′	20′	40′	rechts um 3′	20′	40′	Bemerkungen
39	II	A		293*	42**	16**	} ſchlägt ſtark	38**	16**	* ſchlägt ** ſchlägt gering
(56)	1	800		291	42	17		37	17	
VII	v = 0,20			284	42	17	—	36	16	
			Summe	868	126	50	—	111	49	
			Mittel	289,3	42	16,7	—	37	16,3	
40	II	A		234	36	14*	} ſchlägt ſtark	32	14	* ſchlägt gering
(57)	2	800		237	35	15		31	15	
VII	v = 0,175			240	35	14,5	—	31	14	
			Summe	711	106	43,5		94	43	
			Mittel	237	35,3	14,5		31,3	14,3	
41	II	A		181*	27**	12**	ſchlägt	24**	11,5	* ſchlägt gering ** ſchlägt gleichmäßig
(58)	3	800		182	28	12	—	25	11,5	
VII	v = 0,150			188	28	11,5	—	25	11,5	
			Summe	551	83	35,5	—	74	34,5	
			Mittel	183,7	27,7	11,8	—	24,7	11,5	
42	II	A		143	21*	9,5*	157	20*	9,5*	* ſehr gleichmäßig
(59)	4	800		147	21	9	150	19,5	9	
VII	v = 0,080			147	22	9	150	20	9	
			Summe	437	64	27,5	457	59,5	27,5	
			Mittel	145,7	21,3	9,2	152,3	19,8	9,2	
43	II	A		109	18*	7*	126	16*	7,5*	* ſehr gleichmäßig
(60)	5	800		108	18	7	127	16	7,5	
VII	v = 0,071			109	18	7	135	16	7,5	
			Summe	326	54	21	388	48	22,5	
			Mittel	108,7	18	7	123,3	16	7,5	
44	II	A		60	11*	6*	77	9,5*	6	* ſehr gleichmäßig
(61)	6	800		61	11	5	75	9,5	4	
VII	v = 0,046			64	11	5	78	9,5	5	
			Summe	185	33	16	230	28,5	15	
			Mittel	61,7	11	5,3	76,7	9,5	5	
45	II	A		55	7,5	} ungleichmäßig	56	7,5	} ungleichmäßig	
(62)	7	800		55	7,5		58	7,0		
VII	v = 0,028			53,5	7,5	—	54,5	7,0	—	
			Summe	163,5	22,5	—	168,5	21,5	—	
			Mittel	54,5	7,5	—	56,2	7,2	—	
46	II	A		Gleiten mit Stillſtand	6	ungleichmäßig	42*	5	ungleichmäßig	* gleichmäßiges Gleiten
(63)	8	800			6		41	5		
VII	v = 0,021				6		42	5		
			Summe	—	18	—	125	15		
			Mittel	—	6	—	41,7	5		

Digitized by Google

Laufende Nr. Verſuchs-Nr. Datum	Umdrehungsgeſchwindigkeit der Spindel. Wärme	Lagerſchale und Belaſtungen g		Zahl der Umdrehungen der Spindel zwiſchen den Theilſtrichen 0 und 170 bei einer Spindelneigung nach links um 3¹	links um 20¹	links um 40¹	rechts um 3¹	rechts um 20¹	rechts um 40¹	Bemerkungen
63	II	A		24	9	6				
(80)	6	1000		75	9	5				
VII	v = 0.040			82	10	5				
	t = T = 21°		Summe	241	28	16				
			Mittel	80,3	9,3	5,3				
64	II	A		136	16,5	8,5				
(81)	4	1100		134	16	7,5				
VII	v = 0.089			137	15,5	9				
			Summe	407	48	25				
			Mittel	135,7	16	8,3				
65	II	A		112	14	7,5				
(82)	5	1100		127	14,5	8				
VII	v = 0.071			122	14	7,5				
			Summe	361	42,5	23				
			Mittel	120,3	14,2	7,7				
66	II	A		69	8	5				
(83)	6	1100		67	8	5				
VII	v = 0.040			69	8	5,5				
	t = T = 21°		Summe	205	24	15,5				
			Mittel	68,5	8	5,2				
67	II	A		138	15	8				
(84)	4	1200		138	15	8,5				
VII	v = 0.089			137	14	8				
			Summe	413	44	24,5				
			Mittel	137,7	14,7	8,2				
68	II	A		113	12	6,5				
(85)	5	1200		105	12	7,5				
VII	v = 0.071			112	12	7,5				
	t = T = 21°		Summe	330	36	21,5				
			Mittel	110	12	7,2				
69	II	A		60	8	4				
(86)	6	1200		58	7,5	5				
VII	v = 0.040			60	7,5	4				
	t = T = 21°		Summe	178	23	13				
			Mittel	59,3	7,7	4,3				

Digitized by Google

IV. Unterſuchungen über den Einfluß der Wärme.

Verſuchsausführung. Die Verſuche ſind in ähnlicher Weiſe wie die vorangehenden bei einer Spindelneigung $\alpha = 3'$ unter 800 g Belaſtung und bei verſchiedenen Geſchwindigkeiten ausgeführt, wobei durch einen durch die Spindel geſchickten Waſſerſtrom die Wärme geregelt wurde.

Laufende Nr. (Verſuchs-Nr.) Datum	Vorgelege der Transmiſſion. Wärme	Lagerſchale und Belaſtungen g		Zahl der Umdrehungen der Spindel zwiſchen den Theilſtrichen 0 und 170 bei einer Spindelneigung von 3'						Bemerkungen
				nach links			nach rechts			
				Vorgelege						
				$v' = 0{,}089$	$v'' = 0{,}071$	$v''' = 0{,}040$	$v' = 0{,}089$	$v'' = 0{,}071$	$v''' = 0{,}040$	
70—72 (87—89) VII	II $t = 20°$ $T = 169°$	A 800		100	83	46				
				102	84	46				
				99	84	46				
			Summe	301	251	138				
			Mittel	100,3	83,7	46				
73—75 (90—92) VII	II $t = 20°$ *) $T = 100°$	A 800		12,5	10,5	7				*) Dampfwärme.
				13	10,5	7				
				12,5	10	7,5				
			Summe	38	31	21,5				
			Mittel	12,7	10,3	7,2				
76—78 (93—95) VII	II $t = 20°$ $T = 165°$	A 800		123	112	67				
				127	114	63				
				123	114	66				
			Summe	373	340	196				
			Mittel	124,3	113,3	65,3				
79—81 (96—98) VII	II $t = 20°$ $T = 20°$	A 800		97	76	45				
				95	79	45				
				96	76	45				
			Summe	288	231	135				
			Mittel	96	77	45				
82—84 (99—101) VII	II $t = 20°$ $T = 43{,}75°$	A 800		34,5	28	15,5				
				32,5	27	16,5				
				33	29	15,5				
			Summe	100	84	47,5				
			Mittel	33,3	28	15,8				
85—87 (102—104) VII	II $t = 20°$ $T = 62{,}5°$	A 800		15	13	8				
				14,5	13	8,5				
				14,5	13	8				
			Summe	44	39	24,5				
			Mittel	14,7	13	8,2				

Digitized by Google

V. Vergleichende Unterſuchungen über das Verhalten verſchiedener Rüböle.

Verſuchsausführung. Die Verſuche fanden bei einer Spindelneigung $\alpha = 10'$ ſtatt, ferner wurden die Belaſtungen 800 und 1200 g, die Geſchwindigkeiten II/4 und II/6 oder $v = 0{,}089$ und $0{,}040 \frac{m}{sec.}$ die Wärmegrade 20, 40 und 60° C angewendet. Bei Wärmegraden, welche unterhalb des Thaupunktes der Luft lagen, beſchlug entweder die Spindel und nahm kein Oel an, oder es bildete ſich mit dem aus der Luft niedergeſchlagenen Waſſerdampf eine Emulſion. Aus dieſem Grunde wurde 20° als der niedrigſte Wärmegrad für den Verſuch angenommen. Die Wärmegrade 20, 40 oder 60 wurden durch einen durch die Spindel fließenden Waſſerſtrom von gleichbleibender Wärme erzeugt und erhalten. Sie wurden an einem unmittelbar vor der Ausflußöffnung angebrachten Thermometer abgeleſen. Zu Anfang einer jeden Verſuchsreihe von 12 Einzelverſuchen wurden jedesmal 5 Tropfen Oel friſch aufgegeben.

Eine fehlerhafte Beſtimmung der Umdrehungszahl um 1 Umdrehung würde einer fehlerhaften Beſtimmung des Reibungskoeffizienten um $\mu = 0{,}00137$ entſprechen.

Laufende Nr. Verſuchs-Nr. Datum	Bezeichnung des Rüböls	Wärmegrad der Spindel	Geſchwindigkeiten: II/4: v = 0,089 Belaſtungen 800 g	1200 g	II/6: v = 0,040 Belaſtungen 800 g	1200 g	Umdrehungen	Geſchwindigkeiten: II/4: v = 0,089 Belaſtungen 800 g	1200 g	II/6: v = 0,040 Belaſtungen 800 g	1200 g	Reibungskoeffizienten	Bemerkungen
88—91	v 3	16,9°	46	32	24	16							
(109—112)			47	32	23	16							
(3 VIII)			45	32	22	16							
		Summe	138,0	96,0	69,0	48,0							
		Mittel	46,0	32,0	23,0	16,0		0,0632	0,0440	0,0316	0,0220		
92—95	v 3	20°	43	32	23	16,5							
(189—192)			42,5	31,5	22,5	16							
(11 VIII)			42,5	31	23	16							
		Summe	128,0	94,5	68,5	48,5							
		Mittel	42,7	31,5	22,8	16,2		0,0587	0,0433	0,0313	0,0223		
96—99	v 3	21°	34	26	16	12							
(105—108)			32	26	16	12							
(3 VIII)			30	26	16	12							
		Summe	96,0	78,0	48,0	36,0							
		Mittel	32,0	26,0	16,0	12,0		0,0440	0,0357	0,0220	0,0165		
100—103	v 3	40°	17	12,5	9,5	6,5							
(193—196)			17,5	12,5	9	7							
(11 VIII)			17,5	12,5	9,5	6							
		Summe	52,0	37,5	28,0	19,5							
		Mittel	17,3	12,5	9,3	6,5		0,0237	0,0172	0,0128	0,0089		
104—107	v 3	50°	11	7	5	4,5							
(113—116)			11	7	5	4,5							
(3 VIII)			11	7	5	4,5							
		Summe	33,0	21,0	15,0	13,5							
		Mittel	11,0	7,0	5,0	4,5		0,0151	0,0096	0,0096	0,0062		

Digitized by Google

Laufende Nr. Verſuchs-Nr. Datum	Bezeichnung des Rüböls	Wärmegrad der Spindel	Geſchwindigkeiten II 4: v = 0,059 Belaſtungen: 800 g	1200 g	II 5, v = 0,040 Belaſtungen 800 g	1200 g	Geſchwindigkeiten II 4: v = 0,040 Belaſtungen 800 g	1200 g	II 6, v = 0,040 Belaſtungen 800 g	1200 g	Bemerkungen
			Umdrehungen		Umdrehungen		Reibungskoeffizienten		Reibungskoeffizienten		
108—111	v 3	60°	9,5	7	6	5					
(197—200)			9	7	6	4,5					
(11 VIII)			9,5	7,5	6	5					
		Summe	28,0	21,5	18,0	14,5					
		Mittel	9,3	7,2	6,0	4,8	0,0128	0,0098	0,0082	0,0066	
112—115	v 4	16,9°	48	36	24	18					
(121—124)			48	37	23,5	17					
(4 VIII)			48	36	23	18					
		Summe	144,0	109,0	70,5	53,0					
		Mittel	48,0	36,3	23,5	17,7	0,0659	0,0499	0,0323	0,0244	
116—119	v 4	20°	41	31	22	16					
(201—204)			40,5	30,5	22	16					
(11 VIII)			40,5	30,5	22,5	16					
		Summe	122,0	92,0	66,5	48,0					
		Mittel	40,7	30,7	22,2	16,0	0,0560	0,0422	0,0305	0,0220	
120—123	v 4	21,5°	37	26	18	13					
(117—120)			35	26	18	13					
(4 VIII)			36	27	17	13					
		Summe	108,0	79,0	53,0	39,0					
		Mittel	36,0	26,3	17,7	13,0	0,0495	0,0361	0,0244	0,0179	
124—127	v 4	40°	17	12	9,5	7,5					
(205—208)			17,5	12	9,5	7					
(11 VIII)			17,5	12,5	10	7					
		Summe	52,0	36,5	29,0	21,5					
		Mittel	17,3	12,2	9,7	7,2	0,0238	0,0168	0,0134	0,0099	
128—131	v 4	50°	12	9	6	5					
(125—128)			12	8,5	6	5					
(4 VIII)			12	8,5	6	5					
		Summe	36,0	26,0	18,0	15,0					
		Mittel	12,0	8,7	6,0	5,0	0,0165	0,0120	0,0082	0,0069	
132—135	v 4	60°	9,5	7,5	5,5	5					
(209—212)			10	8	5,5	4,5					
(11 VIII)			10	8	5,5	4,5					
		Summe	29,5	23,5	16,5	14,0					
		Mittel	9,8	7,8	5,5	4,7	0,0135	0,0107	0,0076	0,0065	
136—139	v 5	16,9°	48,5	37	22	16,5					
(133—136)			49,5	37	22	16,5					
(5 VIII)			50	38*	22	16,5					* Das Oel trübte sich. (Thaupunkt erreicht.)
		Summe	148,0	112,0	66,0	49,5					
		Mittel	49,3	37,3	22,0	16,5	0,0677	0,0512	0,0302	0,0227	

Digitized by Google

Laufende Nr. Verſuchs-Nr. Datum	Bezeichnung des Rüböls	Wärmegrad der Spindel	Geſchwindigkeiten				Geſchwindigkeiten				Bemerkungen
			II4: v = 0,089 Belaſtungen		II6: v = 0,040 Belaſtungen		II4: v = 0,089 Belaſtungen		II6: v = 0,040 Belaſtungen		
			800 g	1200 g	800 g	1200 g	800 g	1200 g	800 g	1200 g	
			Umdrehungen		Umdrehungen		Reibungskoeffizienten		Reibungskoeffizienten		
140—143 (213—216) (12 VIII)	v 5	20°	44,5	30,5	22,5	16					
			43,5	31	22,5	16,5					
			41	30,5	22	16,5					
		Summe	129,0	92,0	67,0	49,0					
		Mittel	43,0	30,7	22,3	16,3	0,0591	0,0422	0,0306	0,0224	
144—147 (129—132) (5 VIII)	v 5	23,5°	31	22,5	15,5	12					
			30	22,5	15,5	12					
			31	22,5	15,5	12					
		Summe	92,0	67,5	46,5	36,0					
		Mittel	30,7	22,5	15,5	12,0	0,0422	0,0309	0,0213	0,0165	
148—151 (217—220) (12 VIII)	v 5	40°	16	11,5	9	7					
			16	11	9	7					
			16	11,5	9	7					
		Summe	48,0	34,0	27,0	21,0					
		Mittel	16,0	11,3	9,0	7,0	0,0220	0,0154	0,0124	0,0096	
152—155 (137—140) (5 VIII)	v 5	45°	13	9,5	8,5	7					
			13	10	8	7,5					
			13	10,5	9	8					
		Summe	39,0	30,0	25,5	22,5					
		Mittel	13,0	10,0	8,5	7,5	0,0179	0,0137	0,0117	0,0103	
156—159 (221—224) (12 VIII)	v 5	60°	9	7,5	6	4					
			9	7	5,5	4					
			8,5	7	5,5	4*					* Gleiten des Lagers mit Stillſtand verbunden.
		Summe	26,5	21,5	17,0	12,0					
		Mittel	8,8	7,2	5,7	4,0	0,0121	0,0099	0,0079	0,0055	
160—163 (145—148) (6 VIII)	v 6	17,5°	42	31	21	15,5					
			43	32,5	21	16					
			43,5	32,5	20,5	16					
		Summe	128,5	96,0	62,5	47,5					
		Mittel	42,8	32,0	20,8	15,8	0,0588	0,0440	0,0286	0,0217	
164—167 (225—228) (12 VIII)	v 6	20°	42,5	31	22,5	16,5					
			41	29	22	16,5					
			43	31	22,5	16					
		Summe	126,5	91,0	67,0	49,0					
		Mittel	42,2	30,3	22,3	16,3	0,0581	0,0416	0,0306	0,0224	
168—171 (141—144) (6 VIII)	v 6	24,5°	36	26	16,5	12,5					
			37	27	16,5	12					
			35	26	17	12,5					
		Summe	108,0	79,0	50,0	37,0					
		Mittel	36,0	26,3	16,7	12,3	0,0495	0,0361	0,0230	0,0169	

Digitized by Google

Laufende Nr. Verſuchs-Nr. Datum	Bezeichnung des Rüböls	Wärmegrad der Spindel	Geſchwindigkeiten II/4: v = 0,089 Belaſtungen 800 g	1200 g	II/6: v = 0,040 Belaſtungen 800 g	1200 g	Geſchwindigkeiten II/4: v = 0,089 Belaſtungen 800 g	1200 g	II/6: v = 0,040 Belaſtungen 800 g	1200 g	Bemerkungen
			Umdrehungen		Umdrehungen		Reibungskoeffizienten		Reibungskoeffizienten		
172—175 (229—232) (12 VIII)	v 6	40°	16	13	9	7					
			16,5	13	9	7,5					
			15,5	12,5	9	7					
		Summe	48,0	38,5	27,0	21,5					
		Mittel	16,0	12,8	9,0	7,2	0,0220	0,0176	0,0121	0,0100	
176—179 (149—152) (6 VIII)	v 6	50°	11	9	5,5	4,5					
			11	9	5,5	4,5					
			11	9	5	4,5					
		Summe	33,0	27,0	16,0	13,5					
		Mittel	11,0	9,0	5,3	4,5	0,0151	0,0124	0,0073	0,0062	
180—183 (233—236) (12 VIII)	v 6	60°	8,5	6,5	6	4					
			8,5	7	6	4					
			8	6,5	6,5	4*					* Gleiten des Lagers mit Stillſtand verbunden.
		Summe	25,0	20,0	18,5	12,0					
		Mittel	8,3	6,7	6,2	4,0	0,0114	0,0092	0,0080	0,0055	
184—187 (157—160) (6 VIII)	v 7	17,5°	44	31	21	15,5					
			45	31	21	15					
			46	31	21	15,5					
		Summe	135,0	93,0	63,0	46,0					
		Mittel	45,0	31,0	21,0	15,3	0,0618	0,0426	0,0288	0,0210	
188—191 (237—240) (12 VIII)	v 7	20°	40,5	29,5	22	16,5					
			40,5	29	22	16					
			40,5	29,5	22	16,5					
		Summe	121,5	88,0	66,0	49,5					
		Mittel	40,5	29,3	22,0	16,3	0,0556	0,0404	0,0302	0,0224	
192—195 (157—160) (6 VIII)	v 7	24,5°	32,5	24,5	16,5	11,5					
			34,5	25	16	11,5					
			34	25,5	16	11,5					
		Summe	101,0	75,0	48,5	34,5					
		Mittel	33,7	25,0	16,2	11,5	0,0463	0,0344	0,0223	0,0158	
196—199 (241—244) (12 VIII)	v 7	40°	18	12,5	9	7					
			17,5	12,5	9	7					
			17	12,5	8,5	7					
		Summe	52,5	37,5	20,5	21,0					
		Mittel	17,5	12,5	8,8	7,0	0,0241	0,0172	0,0121	0,0096	
200—203 (161—164) (6 VIII)	v 7	50°	10,5	7,5	5	4					
			10	7,5	5,5	4,5					
			10,5	7,5	5	4					
		Summe	31,0	22,5	15,5	12,5					
		Mittel	10,3	7,5	5,2	4,2	0,0141	0,0103	0,0072	0,0058	

Digitized by Google

Laufende Nr. Verſuchs-Nr. Datum	Bezeichnung des Rüböls	Wärmegrad der Spindel	Geſchwindigkeiten				Geſchwindigkeiten				Bemerkungen
			II4: v = 0,089 Belaſtungen		II6: v = 0,040 Belaſtungen		II4: v = 0,089 Belaſtungen		II6: v = 0,040 Belaſtungen		
			800 g	1200 g	800 g	1200 g	800 g	1200 g	800 g	1200 g	
			Umdrehungen		Umdrehungen		Reibungskoeffizienten		Reibungskoeffizienten		
204–207 (245–248) (12 VIII)	v 7	60°	9	7,5	5,5	4,5					
			9	7,5	5,5	4					
			9	7,5	5,5	4,5					
		Summe	27,0	22,5	16,5	13,0					
		Mittel	9,0	7,5	5,5	4,3	0,0124	0,0103	0,0076	0,0059	
208–211 (169–172) (7 VIII)	v 8	19,4°	51	36	22,5	15,5					
			51	37	22,5	16					
			51	37	22	16,5					
		Summe	153,0	110,0	67,0	48,0					
		Mittel	51,0	36,7	22,3	16,0	0,0701	0,0505	0,0306	0,0220	
212–215 (249–252) (12 VIII)	v 8	20°	46	35	24	16,5					
			45,5	35	23	17					
			45,5	34	23	16,5					
		Summe	137,0	104,0	70,0	50,0					
		Mittel	45,7	34,7	23,3	16,7	0,0628	0,0477	0,0320	0,0230	
216–219 (165–168) (7 VIII)	v 8	24°	36	27	17	13					
			38	27	17	13					
			37	27	17	13					
		Summe	111,0	81,0	51,0	39,0					
		Mittel	37,0	27,0	17,0	13,0	0,0518	0,0371	0,0234	0,0179	
220–223 (253–256) (12 VIII)	v 8	40°	16,5	12	9	7					
			16,5	11,5	9,5	7,5					
			16	12	10	7,5					
		Summe	49,0	35,5	28,5	22,0					
		Mittel	16,3	11,8	9,5	7,3	0,0224	0,0162	0,0131	0,0100	
224–227 (173–176) (7 VIII)	v 8	50°	16	12	7,5	5,5					
			16,5	12,5	7	6					
			15,5	12	7,5	5,5					
		Summe	48,0	36,5	22,0	17,0					
		Mittel	16,0	12,2	7,7	5,7	0,0220	0,0168	0,0106	0,0079	
228–231 (245–248) (12 VIII)	v 8	60°	9,5	7	5,5	4,5					
			9	7	5,5	4					
			9,5	7,5	5,5	4					
		Summe	28,0	21,5	16,5	12,5					
		Mittel	9,3	7,2	5,5	4,2	0,0124	0,0103	0,0076	0,0058	
232–235 (181–184) (7 VIII)	v 9	19,4°	49	36	22,5	16,5					
			48	34,5	22,5	16					
			47	35	22,5	15,5					
		Summe	144,0	105,5	67,5	48,0					
		Mittel	48,0	35,2	22,5	16,0	0,0659	0,0484	0,0309	0,0220	

Digitized by Google

Laufende Nr. Verſuchs-Nr. Datum	Bezeichnung des Rüböls	Wärmegrad der Spindel	Geſchwindigkeiten				Geſchwindigkeiten				Bemerkungen
			II 4. v = 0,094 Belaſtungen		II 6. v = 0,040 Belaſtungen		II 4. v = 0,094 Belaſtungen		II 6. v = 0,040 Belaſtungen		
			900 g	1200 g	900 g	1200 g	900 g	1200 g	900 g	1200 g	
			Umdrehungen		Umdrehungen		Reibungskoeffizienten		Reibungskoeffizienten		
236—239 (261—264) (13 VIII)	v 9	20°	42,5	32	23	17					
			43,5	33	23,5	17					
			43	33	23,5	17					
		Summe	129,0	98,0	70,0	51,0					
		Mittel	43,0	32,7	23,3	17,0	0,0591	0,0450	0,0320	0,0234	
240—243 (177—180) (17 VIII)	v 9	24°	34	25,5	17	13,5					
			35,5	25,5	17	12					
			34	25	16,5	12,5					
		Summe	103,5	76,0	50,5	38,0					
		Mittel	34,5	25,3	16,8	12,7	0,0474	0,0348	0,0231	0,0175	
244—247 (265—268) (13 VIII)	v 9	40°	15,5	12	9	7					
			15,5	12	9	7					
			15,5	12	9	7					
		Summe	46,5	36,0	27,0	21,0					
		Mittel	15,5	12,0	9,0	7,0	0,0213	0,0165	0,0124	0,0096	
248—251 (185—188) (7 VIII)	v 9	50°	16	11,5	8	6,5					
			17	13	9	6					
			17,5	13	9	6					
		Summe	50,5	37,5	26,0	18,5					
		Mittel	16,8	12,5	8,7	6,2	0,0231	0,0172	0,0120	0,0085	
252—255 (269—272) (13 VIII)	v 9	60°	7	6	5	4					
			7	6	5	4					
			7	6	5	4					
		Summe	21,0	18,0	15,0	12,0					
		Mittel	7,0	6,0	5,0	4,0	0,0096	0,0082	0,0069	0,0055	
256—259 (273—276) (13 VIII)	v 10	20°	38,5	29,5	21	15,5					
			39	29,5	21	15,5					
			39,5	28,5	22	15,5					
		Summe	117,0	87,5	64,0	46,5					
		Mittel	39,0	29,2	21,3	15,5	0,0536	0,0403	0,0292	0,0213	
260—263 (277—280) (13 VIII)	v 10	40°	15,5	11	9,5	7					
			15,5	11	9	7					
			15,5	11	9	7					
		Summe	46,5	33,0	27,5	21,0					
		Mittel	15,5	11,0	9,2	7,0	0,0213	0,0151	0,0127	0,0096	
264—267 (281—284) (13 VIII)	v 10	60°	7,5	6,5	5	4					
			8	6	5	4					
			7,5	6	5	4					
		Summe	23,0	18,5	15,0	12,0					
		Mittel	7,7	6,2	5,0	4,0	0,0106	0,0085	0,0069	0,0055	

Digitized by Google

Laufende Nr. Verſuchs-Nr. Datum	Bezeichnung des Rüböls	Wärmegrad der Spindel	Geſchwindigkeiten II/4: v = 0.080 Belaſtungen: 800 g	1200 g	II/6: v = 0.040 Belaſtungen: 800 g	1200 g	Geſchwindigkeiten II/4: v = 0.080 Belaſtungen: 800 g	1200 g	II/6: v = 0.040 Belaſtungen: 800 g	1200 g	Bemerkungen
			Umdrehungen		Umdrehungen		Reibungskoeffizienten		Reibungskoeffizienten		
268—271	v 11a	20°	39,5	29,5	21,5	15,5					
(265—288)			38,5	29	20,5	15,5					
(13 VIII)			38	29	21	15,5					
		Summe	116,0	87,5	63,0	46,5					
		Mittel	38,7	29,2	21,0	15,5	0,0532	0,0403	0,0288	0,0213	
272—275	v 11a	40°	15	11	8	6,5					
(289—292)			14,5	11	8	6,5					
(13 VIII)			14,5	11	8	6,5					
		Summe	44,5	33,0	24,0	19,5					
		Mittel	14,8	11,0	8,0	6,5	0,0203	0,0151	0,0110	0,0089	
276—279	v 11a	60°	8,5	7	5,5	4,5					
(293—296)			8	6,5	5,5	4,5					
(14 VIII)			8,0	6,5	5,0	4,5					
		Summe	24,5	20,0	16,0	13,5					
		Mittel	8,2	6,7	5,3	4,5	0,0113	0,0092	0,0073	0,0062	
280—283	v 11b	20°	38,5	28	21	15,5					
(297—300)			38,5	27	21	15,5					
(14 VIII)			39	27,5	21	16					
		Summe	116,0	82,5	63,0	47,0					
		Mittel	38,7	27,5	21,0	15,7	0,0532	0,0378	0,0288	0,0216	
284—287	v 11b	40°	14	11	8,5	6,5					
(301—304)			15	10,5	8,5	6,5					
(14 VIII)			14,5	11	8	6,5					
		Summe	43,5	32,5	25,0	19,5					
		Mittel	14,5	10,8	8,3	6,5	0,0199	0,0148	0,0114	0,0089	
288—291	v 11b	60°	8,5	7	5,5	4					
(305—308)			8,5	7	5,5	4,5					
(14 VIII)			8,5	7	5,5	4,5					
		Summe	25,5	21,0	16,5	13,0					
		Mittel	8,5	7,0	5,5	4,3	0,0117	0,0096	0,0076	0,0059	
292—295	v 12a	20°	39	26	18	12					
(309—312)			36	27	17	12					
(10 IX)			37	27	17	12					
			37	24	18	13					
			39	26	16	13					
			36	26	18	13					
		Summe	224,0	156,0	104,0	75,0					
		Mittel	37,3	26,0	17,3	12,5	0,0512	0,0357	0,0238	0,0172	

Digitized by Google

Laufende Nr Verſuchs-Nr. Datum	Bezeichnung des Rüböls	Wärmegrad der Spindel	Geſchwindigkeiten II/4; v = 0,089 Belaſtungen 800 g	1200 g	II/6; v = 0,040 Belaſtungen 800 g	1200 g	Geſchwindigkeiten II/4; v = 0,089 Belaſtungen 800 g	1200 g	II/6; v = 0,040 Belaſtungen 800 g	1200 g	Bemerkungen
			Umdrehungen		Umdrehungen		Reibungskoeffizienten		Reibungskoeffizienten		
296—299 (313—316) (10 IX)	v 12a	40°	16	11	7,5	6,5					
			15	11	8	6,5					
			15	11	8	6,5					
		Summe	46,0	33,0	23,5	19,5					
		Mittel	15,3	11,0	7,8	6,5	0,0210	0,0151	0,0107	0,0089	
300—303 (317—320) (10 IX)	v 12a	60°	12	9	6	5					
			11	9	6,5	5,5					
			12	9	6,5	5					
		Summe	34,0	27,0	19,0	15,5					
		Mittel	11,3	9,0	6,3	5,2	0,0155	0,0124	0,0086	0,0072	
304—307 (321—324) (11 IX)	v 12b	20°	36	26	18	13					
			35	26	19	13					
			35	27	19	14					
			35	27	18	13					
			36	27	18	13					
			36	27	18	13					
		Summe	213,0	160,0	110,0	79,0					
		Mittel	35,5	26,7	18,3	13,1	0,0488	0,0367	0,0251	0,0180	
308—311 (325—328) (11 IX)	v 12b	40°	16	11	7,5	6,5					
			14	11	8	6,5					
			16	11	8	6,5					
		Summe	46,0	33,0	23,5	19,5					
		Mittel	15,3	11,0	7,8	6,5	0,0210	0,0151	0,0107	0,0089	
312—315 (329—332) (11 IX)	v 12b	60°	12	9	6,5	5,5					
			11	8,5	6,5	5,5					
			11	9	6,5	5,5					
		Summe	34,0	26,5	19,5	16,5					
		Mittel	11,3	8,8	6,5	5,5	0,0155	0,0121	0,0089	0,0076	

Digitized by Google

VI. Schlußzuſammenſtellung der Ergebniſſe aus Tabelle V und der Zähigkeitsbeſtimmungen.

Bezeichnung des Oeles	Reibungskoeffizienten. Spindelneigung $\alpha = 10'$ und												Spezifiſche Zähigkeit, beſtimmt mit dem Gefäß g_1 bei		
	Geſchwindigkeit 4; v = 0,089 m bei Belaſtungen von						Geſchwindigkeit 6; v = 0,040 m bei Belaſtungen von								
	800 g und			1200 g und			800 g und			1200 g und					
	20°	40°	60°	20°	40°	60°	20°	40°	60°	20°	40°	60°	20°	40°	60°
	104	**109**	**102**	**105**	**108**	**98**	**107**	**106**	**105**	**104**	**95**	**108**	**130**	**106**	**103**
v 3	0,0585	0,0237	0,0128	0,0433	0,0172	0,0098	0,0313	0,0128	0,0082	0,0223	0,0089	0,0066	6,63	2,61	1,73
	99	**109**	**108**	**103**	**105**	**107**	**104**	**111**	**97**	**102**	**105**	**106**	**90**	**92**	**100**
v 4	0,0560	0,0238	0,0135	0,0422	0,0168	0,0107	0,0305	0,0134	0,0076	0,0220	0,0099	0,0065	4,57	2,25	1,68
	105	**101**	**97**	**103**	**96**	**99**	**104**	**102**	**101**	**104**	**102**	**90**	**97**	**100**	**98**
v 5	0,0591	0,0220	0,0121	0,0422	0,0154	0,0099	0,0306	0,0124	0,0079	0,0224	0,0096	0,0055	4,97	2,46	1,65
	104	**101**	**91**	**101**	**110**	**92**	**104**	**102**	**103**	**104**	**106**	**90**	**107**	**103**	**102**
v 6	0,0584	0,0220	0,0114	0,0416	0,0176	0,0092	0,0306	0,0124	0,0080	0,0224	0,0100	0,0055	5,49	2,46	1,72
	98	**110**	**99**	**98**	**108**	**103**	**103**	**100**	**97**	**104**	**102**	**97**	**94**	**102**	**96**
v 7	0,0556	0,0241	0,0124	0,0404	0,0172	0,0103	0,0302	0,0121	0,0076	0,0224	0,0096	0,0059	4,77	2,50	1,61
	111	**103**	**102**	**115**	**101**	**99**	**109**	**108**	**97**	**108**	**106**	**95**	**95**	**100**	**102**
v 8	0,0628	0,0224	0,0128	0,0471	0,0162	0,0099	0,0320	0,0131	0,0076	0,0231	0,0100	0,0058	4,83	2,47	1,71
	105	**98**	**77**	**109**	**103**	**82**	**109**	**102**	**89**	**109**	**102**	**90**			
v 9	0,0591	0,0213	0,0096	0,0448	0,0165	0,0082	0,0320	0,0124	0,0069	0,0234	0,0096	0,0055	—	—	—
	95	**98**	**85**	**98**	**94**	**85**	**99**	**105**	**89**	**100**	**102**	**90**	**87**	**100**	**99**
v 10	0,0536	0,0213	0,0106	0,0403	0,0151	0,0085	0,0292	0,0127	0,0069	0,0213	0,0096	0,0054	4,45	2,45	1,66
	94	**93**	**90**	**98**	**94**	**92**	**98**	**91**	**98**	**100**	**95**	**102**			
v 11a	0,0532	0,0202	0,0113	0,0403	0,0151	0,0092	0,0288	0,0110	0,0073	0,0213	0,0089	0,0062	—	—	—
	94	**90**	**94**	**92**	**93**	**96**	**98**	**94**	**97**	**100**	**95**	**97**			
v 11b	0,0532	0,0197	0,0117	0,0378	0,0148	0,0096	0,0288	0,0114	0,0076	0,0214	0,0089	0,0059	—	—	—
	91	**96**	**129**	**89**	**94**	**124**	**81**	**88**	**110**	**77**	**95**	**118**			
v 12a	0,0512	0,0210	0,0161	0,0367	0,0151	0,0124	0,0238	0,0107	0,0086	0,0165	0,0089	0,0072	—	—	—
	104	**93**	**124**	**88**	**94**	**121**	**87**	**91**	**114**	**85**	**95**	**125**			
v 12b	0,0584	0,0202	0,0155	0,0361	0,0151	0,0121	0,0255	0,0110	0,0089	0,0182	0,0089	0,0076	—	—	—
Σ	0,6791	0,2617	0,1498	0,4928	0,1921	0,1198	0,3533	0,1454	0,0931	0,2568	0,1128	0,0737	35,71	17,20	11,76
Mittel	0,0564	0,0218	0,0125	0,0411	0,0160	0,0100	0,0294	0,0121	0,0078	0,0214	0,0094	0,0061	5,10	2,46	1,68

Digitized by Google

Schlußzuſammenſtellung der Ergebniſſe aus Tabelle V und der Zähigkeitsbeſtimmungen.

Bezeichnung des Oeles	Reibungskoeffizienten (bei 20° = 100 geſetzt) Spindelneigung $\alpha = 10'$ und Geſchwindigkeit 4; v = 0,089 m bei Belaſtungen von				Geſchwindigkeit 6; v = 0,040 m bei Belaſtungen von				Spezifiſche Zähigkeit (bei 20° = 100 geſetzt) beſtimmt mit dem Gefäß g_1 bei	
	800 g und		1800 g und		800 g und		1800 g und			
	40° in % von 20°	60° in % von 20°	40° in % von 20°	60° in % von 20°	40° in % von 20°	60° in % von 20°	40° in % von 20°	60° in % von 20°	40° in % von 20°	60° in % von 20°
v 3	41	22	40	23	41	26	40	30	39	26
v 4	42	24	40	25	44	25	45	30	49	37
v 5	37	20	36	23	40	26	43	25	49	33
v 6	38	20	42	22	40	26	45	25	45	31
v 7	43	22	43	26	40	25	43	26	52	34
v 8	36	20	34	21	41	24	43	25	51	35
v 9	36	16	37	18	39	22	41	24	—	—
v 10	40	20	37	21	43	24	45	26	55	37
v 11a	38	21	37	23	38	25	42	29	—	—
v 11b	37	22	39	25	40	26	42	28	—	—
v 12a	41	31	41	34	45	36	54	44	—	—
v 12b	35	27	42	34	43	35	49	42	—	—
Σv_3-v11b	388	207	385	227	406	249	429	268	340	233
Mittel	39	21	39	23	41	25	43	27	49	33
Σv_3-v12b	464	265	468	295	494	320	532	354	—	—
Mittel	39	22	39	25	41	27	44	30	—	—

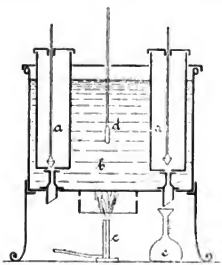
Google

Anlage C.

Ergebniſſe der Unterſuchungen über den Flüſſigkeitsgrad.

Nachdem bereits auf Seite 15 bis 22 diejenigen Apparate beſprochen worden ſind, welche nunmehr von der Verſuchs-Anſtalt zur Beſtimmung des Flüſſigkeitsgrades benutzt werden ſollen und bei dieſer Gelegenheit zugleich die Fehlerquellen aufgezählt ſind, darf ein etwas ausführlicherer älterer Bericht an dieſer Stelle in weſentlich kürzerer Form gegeben werden. Auch von den Ergebniſſen der Vorverſuche ſollen nur diejenigen mitgetheilt werden, welche den Vergleich verſchiedener Oele untereinander zum Gegenſtande haben.

Ueber den Gang der Voruntersuchungen iſt hier zuſammenfaſſend zu berichten, daß bei Beginn der Vorverſuche in der Literatur eigentlich keine eingehende Abhandlung über die bei Flüſſigkeitsgradbeſtimmungen zu befolgenden praktiſchen Maßnahmen vorhanden war. Die Hagenbach'ſche Arbeit u. a. waren theoretiſcher Natur und die übrigen Veröffentlichungen beſchränkten ſich zumeiſt auf eine einfache Mittheilung der Konſtruktion von Viscoſimetern oder von einigen mit ihnen erhaltenen Ergebniſſen, während ſie auf eine Beſprechung der Fehlerquellen und der zu beobachtenden Vorſichtsmaßregeln nur wenig eingingen. Deswegen war die Verſuchs-Anſtalt gezwungen, aus ſich ſelbſt heraus zu arbeiten.



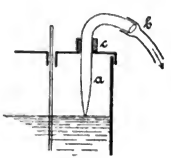
Figur 8.

Weil die Schmieröle mit Erhöhung der Wärme ganz erheblich leichtflüſſiger werden, wurde ein Apparat mit fünf gleichartig konſtruirten Auslaufgefäßen benutzt, welche in einem gemeinſamen Waſſerbade untergebracht waren. Dieſe Gefäße waren mit Auslaufröhren von verſchiedener Weite verſehen, ſo daß man zur möglichſten Abkürzung der Verſuchsdauer für die dickflüſſigeren und die kalten Oele die Gefäße mit den weiten Röhren zu benutzen beabſichtigte, während für die dünnflüſſigen und die warmen Oele die engen Röhren angewendet werden ſollten. Zugleich war die Möglichkeit gegeben, den Einfluß der Rohrweite auf die Beſtimmung des Flüſſigkeitsgrades zu ermitteln. Hierdurch wurde zuerſt erkannt, in wie hohem Maße die Ergebniſſe von den Abmeſſungen der Apparate und der Art der Verſuchsausführung abhängig ſind. Die Konſtruktion des zu den Vorverſuchen benutzten Apparates ergiebt ſich aus Folgendem:

Der Apparat hatte nach mehrfachen Veränderungen ſchließlich die in Fig. 8 gegebene Form erhalten. Die 5 Gefäße a waren mit ihren unteren Anſatzſtücken in das Waſſerbad feſtgeſchraubt, welches durch einen Bunſenbrenner c erhitzt werden konnte. Ther-

Digitized by Google

mometer d zeigte den Wärmegrad des Bades an. Außerdem konnte aber auch in jedes Gefäß ein Thermometer eingeſenkt werden. Durch einen Rührer wurde die Wärme des Bades gleichmäßig vertheilt. In den unteren Anſatzſtücken der Gefäße a waren die Ausflußröhren aus Platin ſo angebracht, daß die Röhrchen auf ihre ganze Länge dieſelbe Wärme annehmen mußten wie das Bad; ſie waren durch Ventile gedichtet, welche von oben her geöffnet und geſchloſſen werden konnten. Die Oberfläche des Oeles wurde durch Abſaugen mittelſt eines Heberrohres von der in Fig. 9 gezeichneten Form in eine beſtimmte Einſtellung gebracht, nachdem das Thermometer längere Zeit auf der gewählten Auslaufwärme geſtanden hatte. Das Glasrohr a war mit einem feſtgekitteten Stück Gummiſchlauch verſehen, deſſen unterer Rand ſich auf den Deckel c des Gefäßes auflegte; das Oel wurde dann bis an die Spitze des Hebers durch den Gummiſchlauch b abgeſaugt und floß nach dem Oeffnen des Ventils in den untergeſtellten Meßkolben e, deſſen enger Hals mit einer Theilung verſehen war, die von 47 bis 50 ccm reichte. Man ließ jedesmal nahezu 50 ccm auslaufen, beſtimmte aber die Auslaufmenge nach dem Abkühlen durch das Gewicht und berechnete nach dem gleichfalls für die Ausflußwärme ermittelten ſpezifiſchen Gewicht des Oeles den Flüſſigkeitsgrad deſſelben bezogen auf Waſſer. Die Zeitmeſſungen geſchahen mit einem ausrückbaren Sekundenzählwerk, welches 0,01 Sekunden anzeigte.



Figur 9.

Die hier intereſſirenden Beobachtungsmittelwerthe ſind in abgekürzter Form in den nachſtehenden Tabellen mitgetheilt.

Tabelle 1.

Ermittelung der Waſſerwerthe der für die Beſtimmung des Flüſſigkeitsgrades benutzten Apparate.

a) der vorbeſchriebenen Metallgefäße.

Verſuchswärme ° C	Auslaßmenge für 1 Sekunde und Gefäß-Nr.					
	1	2	3	4	5	
	g	g	g	g	g	
18	—	—	4,09	3,36	2,78	
20	6,82	6,12	4,80	3,54	2,93	
40	7,01	6,37	4,61	3,89	3,09	
50	—	—	4,70	3,67	2,74	
60	7,33	6,36	4,86	3,66	2,96	
80	7,29	6,30	4,46	4,00	2,92	

Hieraus ergeben ſich die Flüſſigkeitsgrade bezogen auf 20° C

Digitized by Google

Wärmegrad	Für Gefäß-Nr. 1	2	3	4	5	Mittel ohne Nr. 3	Nach Poiſeuille
10	—	—	—	—	—	—	1,30
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
40	0,96	0,95	1,03	0,90	0,94	0,94	0,65
60	0,90	0,93	0,96	0,94	0,96	0,93	—
80	0,89	0,92	1,02	0,84	0,95	0,90	—
	Abmeſſungen der Ausflußröhren in mm*)					*) Die eingetragenen Abmeſſungen ſind nur roh mit einem Dorn und der Schublehre gemeſſen. Sie ſollten zur überſchlaglichen Kontrole der Ergebniſſe dienen.	
r = Radius	1,15	1,05	0,95	0,85	0,70		
l = Länge	5,9	5,9	5,5	5,6	2,0		

b) der zuerſt benutzten Glaspipetten bei 15 °C.

Pipette	1	2	3	4	5
Ausflußmenge in g/sec.	4,69	3,00	4,07	3,72	2,08
Mittel aus n-Verſuchen	3	3	6	3	3

Tabelle 2.

Zuſammenſtellung der Flüſſigkeitsgrade verſchiedener Oele, geordnet nach wachſenden Waſſerwerthen der Ausflußgefäße.

Die älteren Glasgefäße ſind mit P, die neueren Metallgefäße mit G bezeichnet.

Auslaufgefäße	Flüſſigkeitsgrad, erhalten mit G 1	G 2	G 3	P 1	P 3	P 4	G 4	P 2	G 5	P 5	Wärmegrad °C	
Waſſerw. g/sec. =	6,82	6,12	4,80	4,69	4,07	3,72	3,54	3,00	2,93	2,08		
Vorgut v 1	—	—	—	10,51	—	11,00	—	—	—	17,25	17°	
Nachgut v 2	—	—	—	11,44	10,98	11,87	—	17,22	—	—	16°	XII 1884
desgl. v 2	6,51	7,48	7,53	—	—	—	6,84	—	—	—	19,4°	VII 1885
Entſäuert. Oel v 4	—	—	6,33	—	—	—	5,23	—	6,41	—	20°	
Vorgut v 5	4,97	—	—	—	—	—	5,83	—	—	—	20°	

Digitized by Google

Art des Rüböls			Flüſſigkeitsgrade, erhalten mit Gefäß											
			G 1			G 3			G 4			G 5		
			20°	40°	60°	20°	40°	60°	20°	40°	60°	20°	40°	60°
Handelswaare	gleicher	v 3	6,63	2,61	1,73									
desgl. entſäuert	Herkunft	v 4	4,57	2,25	1,68	6,33	2,94	1,98	5,23	2,82	—	6,41	3,19	1,84
Vorgut	gleicher	v 5	4,97	2,46	1,65				5,83	2,63	1,63			
Nachgut	Herkunft	v 6	5,49	2,46	1,72									
Handelswaare	gleicher	v 7	4,77	2,50	1,61									
Nachgut	Her-	v 8	4,83	2,47	1,71									
Handelswaare raffinirt	kunft	v 10	4,45	2,45	1,66									

Aus der Tab. 1 unter a erkennt man leicht, daß die für Waſſer bei verſchiedenen Wärmegraden und mit verſchiedenen Apparaten ermittelten Flüſſigkeitsgrade bezogen auf 20° C. durchaus nicht mit den Werthen übereinſtimmen, welche man aus der von Poiſeuille ermittelten Reihe ableiten kann. Hieraus geht an ſich ſchon die Unanwendbarkeit des Poiſeuille'ſchen Geſetzes auf die benutzten Apparate hervor. Aus der Tab. 2 erſieht man noch klarer, wie groß die Abweichungen der Flüſſigkeitsgrade von Rüböl bei Apparaten werden können, bei denen die Einrichtungen die gleichen und die Unterſchiede in den Abmeſſungen der Ausflußröhren durchaus nicht groß ſind. Vergleicht man die erhaltenen Werthe gar mit den Flüſſigkeitsgraden, wie ſie mit den Glaspipetten, dem Engler'ſchen und Traube'ſchen Apparat erhalten wurden, ſo hat man etwa: Metallgefäße $G_1 = 4{,}5$ bis 6,5; Glaspipetten = 11 bis 17; Engler = 15 und Traube = 100, Werthe, welche gewiß die Nothwendigkeit der Einführung eines einheitlichen Apparates und einheitlichen Prüfungsverfahrens darthun.

Welchen Werth man dem Flüſſigkeitsgrade für die Materialbeurtheilung zumeſſen muß, wird man leicht erſehen, wenn man in Tab. 6 der Anlage B die Gegenüberſtellung der Reibungskoeffizienten und der mit dem älteren Apparate beſtimmten Flüſſigkeitsgrade vergleicht. Die Abnahmen der Reibungskoeffizienten bei wachſender Wärme ſind in befriedigender Weiſe proportional den unter gleichem Wärmewachsthum gefundenen Flüſſigkeitsgraden. Auch aus dieſem Umſtande kann man entnehmen, wie wichtig die Beſtimmung des Flüſſigkeitsgrades für die Schmierölunterſuchung iſt; man wolle ſich dieſe Ueberzeugung durch eigenen Vergleich der Schlußzeilen von Tab. 6, Anlage B, verſchaffen.

Die vorbeſchriebenen Verſuche ſind von dem Aſſiſtenten, Ingenieur Rudert und den Chemikern Predari und Schild ausgeführt worden.

Digitized by Google

Anlage D.

Beſtimmung des ſpezifiſchen Gewichtes und des Ausdehnungsvermögens durch die Wärme.

Bezüglich der in der Verſuchsanſtalt benutzten Methoden zur Beſtimmung des ſpezifiſchen Gewichtes und der Wärmeausdehnung des Oeles iſt hier kurz Folgendes zu berichten:

Die ſpezifiſchen Gewichte bei Zimmerwärme wurden in der Regel mit dem Pyknometer oder mit der Greiner'ſchen Oelwage beſtimmt. Für die Beſtimmung der Ausdehnungskoeffizienten bei höheren Wärmegraden wurden anfangs verſchieden konſtruirte Gefäße mit angefügten Meßröhren angewendet. Man kam aber hiervon wegen mannigfacher praktiſcher Schwierigkeiten zurück und zuletzt wurden kleine beiderſeits kapillar ausgezogene Gefäße aus dünnwandigem Glas (Fig. 10) von etwa 1,5 ccm Inhalt benutzt, welche ausgewogen, mit dem zu unterſuchenden Oel durch Einſaugen gefüllt und ſodann an einem Ende zugeſchmolzen wurden. Das andere Kapillarröhrchen war hakenförmig gebogen, ſo daß es bequem an die Wage gehängt werden konnte. Nach Feſtſtellung des Gewichtes des gefüllten Gläschen wurden eine Anzahl verſchiedener Proben gemeinſam in das Waſſerbad gehängt und langſam bis auf einen beſtimmten Grad erwärmt. Bei der geringen Oelmenge und dem kleinen Durchmeſſer der dünnen Glasgefäße war man ſicher, daß das Oel durchweg dieſelbe Wärme annahm, wie das Waſſer. Dies konnte bei den älteren Apparaten wegen der ſchlechten Wärmeleitung und der großen Zähigkeit des Oeles nur bei ſehr langſamem Erwärmen erreicht und überdies die Innehaltung eines beſtimmten Wärmegrades nur mit verhältnißmäßig großer Unſicherheit erzielt werden. Die Gläschen wurden, nachdem ſie den gewünſchten Wärmegrad erreicht hatten, aus dem Waſſer entfernt und ſorgfältig gereinigt, um alsdann den Gewichtsverluſt ermitteln zu können. Da das austretende Oel ſofort an die Waſſeroberfläche ſteigt, ſo war die Reinigung leicht ausführbar.

Figur 10.

Mit dieſer Methode erhielt man die folgenden Ergebniſſe: Setzt man das Gewicht des Oelinhalts, welches den Glaskörper bei der Wärme t füllt, = G, und das Gewicht des Oelinhalts, welches nach der Erwärmung auf den Grad t^1 und Wiederabkühlung auf t im Glaskörper zurückgeblieben iſt, = g, ſo iſt das Gewicht des durch die Ausdehnung in Folge der Wärmeſteigerung ausgefloſſenen Oeles = G—g. Dieſe Menge würde aber größer ſein, wenn der Glaskörper nicht durch die Erwärmung eine Inhaltsvergrößerung erfahren würde. Setzt man den kubiſchen Ausdehnungskoeffizienten des Glaſes = c (= 0,000025), ſo iſt das der Inhaltsvergrößerung des Glaskörpers entſprechende Oelgewicht = $(t^1 - t)$ c G. Eine Wärmeerhöhung von t auf t^1 bewirkt demnach insgeſammt eine dem Gewichte $G + (t^1 - t)$ c G — g entſprechende Inhaltsvergrößerung. Für eine Wärmeerhöhung von 1° iſt dieſelbe daher $= \frac{G + (t^1 - t)\,c\,G - g}{t^1 - t}$

für die Inhaltseinheit, d. h. der Ausdehnungskoeffizient $C = \frac{G + (t^1 - t)\,c\,G - g}{G\,(t^1 - t)}$

Digitized by Google

Die Werthe für C aus den durch die Verſuche gefundenen Zahlen ſind in nachſtehender Tabelle zuſammengeſtellt.

Oelbezeichnung Nr.	Wärmegrad von	Wärmegrad bis	Verſuch I C =	Verſuch II C =	Mittelwerthe	Mittel aus den Mittelwerthen
v 4	27,5	40	0,00073	0,00075	0,00074	0,00076
	27,5	60	0,00074	0,00077	0,00075	
	27,5	80	0,00082	0,00076	0,00079	
	27,5	100	0,00077	0,00077	0,00077	
v 3	23	40	0,00080	0,00064	0,00072	0,00073
	23	60	0,00075	0,00070	0,00073	
	23	80	0,00075	0,00070	0,00073	
	23	100	0,00078	0,00069	0,00074	
v 5	21	40	0,00062	0,00069	0,00065	0,00070
	21	60	0,00069	0,00068	0,00068	
	21	80	0,00067	0,00070	0,00068	
	21	100	0,00084	0,00075	0,00079	

Iſt nun das ſpezifiſche Gewicht des Oels bei 15° C (wie man es durch die Greiner'ſche Oelwage und die Schädler'ſchen Tabellen erhält) = s, ſein Volumen bei dieſer Wärme alſo = $\frac{G}{s}$, und nennt man ferner die Zahl, um welche ſich das ſpezifiſche Gewicht in den Grenzen von 20—100° für 1° Wärmeerhöhung verändert = x, ſo iſt

$$\left(\frac{(t-15)\,G\,C}{s}+\frac{G}{s}\right)(s+[t-15]\,x)=G$$

$$\frac{G(t-15)\,C+1}{s}(s+[t-15]\,x)=G$$

$$G\,([t-15]\,C+1)=\frac{G\,([t-15]\,C+1)(t-15)\,x}{s}=G$$

$$x=\frac{G\,s\,(t-15)\,C}{G\,([t-15]\,C+1)\,(t-15)}\qquad x=\frac{G\,s\,C}{G\,([t-15]\,C+1)}$$

$$x=\frac{s\,C}{(t-15)\,C+1}$$

In dieſe Formel die Werthe für v 4 eingeſetzt (s = 0,9153), ergiebt 0,00068; Leſèvre giebt an 0,0007.

Die Beſtimmungen nach dieſer Methode ſind bei der Siedewärme am genaueſten. Es wird daher gut ſein, mit Flüſſigkeiten zu arbeiten, welche bei der Wärme, bei welcher der Coeffizient beſtimmt werden ſoll, ſieden.

Die Mehrzahl der Verſuche iſt vom Aſſiſtenten, Chemiker Schild ausgeführt.

Digitized by Google

Anlage E.

Ergebniſſe der chemiſchen Prüfungen.

Bezeichnung	Art des Oeles	Farbe	Gerner'ſche Oelwage %	Specifiſches Gewicht bei t = C° ip. Gew.		Flüſſigkeitsgrad bei t = C° F.		Ergebniſſe der chemiſchen Unterſuchung auf: Thrangehalt	Freie Säure	Sonſtige Beobachtungen.
V. 3	Rüböl.	Dunkelbraun.	98	20 40 60	0,910 0,900 0,895	20 40 60	6,63 2,61 1,73	Mit ſyrupartiger Phosphorſäure konnte kein Thrangehalt nachgewieſen werden. Es trat grüne Färbung ein.	Freie Schwefelſäure iſt nicht vorhanden, da der alkoholiſche Auszug mit Chlorbarium keinen weißen Niederſchlag von ſchwefelſaurem Barium lieferte. Dagegen wurde die Anweſenheit von Oelſäure nachgewieſen und mit dem Burſtyn'ſchen Oelſäuremeſſer 0,78 % freie Oelſäure gefunden.	Mit 2 % Schwefelſäure (ſpec. Gewicht = 1,53) verſetzt, färbte ſich das Oel grün (ſpec. Reaction auf Rüböl), während ſodann theilweiſe Verkohlung eintrat und ein brauner Bodenſatz ſich bildete.
V. 4	Entſäuertes Rüböl.	Hell grünlichgelb.	98	20 40 60	0,910 0,900 0,890	20 40 60	4,57 2,25 1,08	Thran iſt nicht vorhanden. Weiße, ſchmutzige Trübung.	Freie Schwefelſäure iſt vorhanden. Mit dem Burſtyn'ſchen Oelſäuremeſſer wurde gefunden 0,28 % Maßanalytiſch bei Verſuch 1 0,02 " " 2 0,00 " " 3 0,00	—
V. 5	Rüböl-Vorgut.	Dunkelgelbbraun.	98	20 40 60	0,910 0,900 0,895	20 40 60	4,97 2,40 1,65	Thran iſt nicht vorhanden. Grüne Färbung.	Freie Schwefelſäure iſt nicht vorhanden. Oelſäure in geringen Mengen konnte mit dem Burſtyn'ſchen Oelſäuremeſſer nicht nachgewieſen werden. Dagegen maßanalytiſch: 0,18 %.	—
V. 6	Rüböl-Nachgut.	Gelbbraun.	98	20 40 60	0,907 0,900 0,890	20 40 60	5,49 2,46 1,72	Thran iſt nicht vorhanden. Dunkelgrüne Färbung.	Mit dem Burſtyn'ſchen Oelſäuremeſſer wurde gefunden: 0,07 % Maßanalytiſch: 0,395 %.	—
V. 7	Rüböl-Vorgut.	Weingelb.	98	20 40 60	0,905 0,890 0,880	20 40 60	4,77 2,50 1,61	Thran iſt nicht vorhanden. Grüne Färbung.	Mit dem Burſtyn'ſchen Oelſäuremeſſer wurde gefunden: 0,22 %. Maßanalytiſch: Verſuch 1 0,246 " 2 0,246 " 3 0,235	—
V. 8	Rüböl-Nachgut.	Schmutzig dunkelbraun.	98	20 40 60	0,910 0,900 0,895	20 40 60	4,83 2,47 1,71	Thran iſt nicht vorhanden. Grüne Färbung.	Mit dem Oelſäuremeſſer von Burſtyn gefunden: 0,16 %. Maßanalytiſch: 0,48 %.	Mit kohlenſaurem Kali tritt Emulſion ein.
V. 10	Raffinirtes Vor- u. Nachgut-Oel.	Weingelb.	98	20 40 60	0,905 0,890 0,880	20 40 60	4,45 2,45 1,65	Thran iſt nicht vorhanden. Schmutzigweiße Färbung.	Der größte Theil der freien Säure iſt Schwefelſäure, welche infolge mangelhafter Raffinerie im Oel zurückgeblieben iſt. Mit dem Oelſäuremeſſer von Burſtyn gefunden: Verſuch 1 2,16 % " 2 2,46 % Maßanalytiſch: Verſuch 1 0,82 % " 2 0,60 % " 3 1,00 %	—

Verantwortlicher Redacteur: Dr. Hermann Wedding. — Verlag von Julius Springer in Berlin.

Druck von H. S. Hermann in Berlin.

Digitized by Google

Mittheilungen
aus den
Königlichen technischen Versuchsanstalten
zu Berlin.
Herausgegeben im Auftrage der Königlichen Aufsichts-Kommission.

Redacteur: Geheimer Bergrath Dr. Wedding
Mitglied der Königl. Aufsichts-Kommission.

Ergänzungsheft IV. 1888.

Untersuchung japanischer Papiere

Im Auftrage des Herrn Ministers für Handel und Gewerbe

von

A. Martens
Vorsteher der mechanisch-technischen Versuchsanstalt

Mit drei Tafeln in Lichtdruck

Berlin.
Verlag von Julius Springer
1888.

Digitized by Google

Dem Herrn Minister für Handel und Gewerbe ging zu Anfang vorigen Jahres eine von dem Kaiserlich deutschen Consul zu Hiogo-Osaka zusammengestellte Sammlung von Papiersorten zu, wie sie in verschiedenen Fabriken zu Kochi in Japan angefertigt werden, nebst dem zur Herstellung der Papiere verwendeten Rohmateriale.

Diese Proben wurden an das technologische Institut der Universität Berlin, die technischen Hochschulen zu Aachen und Hannover sowie an die mechanisch-technische Versuchs-Anstalt in Charlottenburg behufs Untersuchung vertheilt. Die Resultate der vorgenommenen Prüfungen des Herrn Dr. Ernst Müller in Hannover, sowie der Berichte der Herren Professor Herrmann in Aachen, Professor Dr. Wichelhaus in Berlin und Assistent W. Herzberg von der mechanisch-technischen Versuchs-Anstalt in Charlottenburg sind im Nachfolgenden zusammengestellt. Tabelle A enthält die Zusammenstellung der vorgelegten Papiere nebst den hierzu gemachten Angaben.

Bevor auf die Mittheilung der Prüfungsergebnisse selbst eingegangen wird, soll aus den angeführten Berichten und dem Werke von A. J. J. Rein „Japan nach Reisen und Studien" und C. Hofmann „Handbuch der Papierfabrikation, 1886" eine Zusammenstellung über diejenigen allgemeinen Verhältnisse der japanischen Papierindustrie gegeben werden, welche auch unsern inländischen Papier-Erzeugern und Vertreibern von Nutzen oder wissenswerth sein dürfte.

I. Rohstoffe der japanischen Papier-Industrie.

Als wichtigstes und fast ausschließliches Rohmaterial zur Herstellung von Papieren dient den Japanern der Bast von drei Pflanzenarten:

1. Wickströmia canescens
2. Edgeworthia papyrifera und
3. Broussonetia papyrifera,

welche in Japan die Bezeichnungen „Gampi, Mitsumata (Dsuiko) und Kodsu" tragen. Neben diesen drei Arten kommen gewiß auch noch andere Pflanzenfasern zur Verwendung, jedoch in geringerem Maßstabe. Auch die Verwendung alter Papiere, sowohl japanischen wie europäischen Ursprungs, ist hier zu erwähnen, wenngleich dieselbe keinen großen Umfang erreichen dürfte.

Die drei erwähnten Pflanzenarten, welche in ihren Stammländern China und Japan in ganz bedeutender Menge gebaut werden, besitzen in ihrem Bast feine, ge-

Digitized by Google

schmeidige Fasern von außerordentlicher Länge, welche dem daraus verfertigten Papier eine bedeutende, bisher von keinem andern Papier erreichte Festigkeit verleihen.

Um eine ungefähre Anschauung von der Länge der japanischen Papier-Fasern gegenüber den hier verwendeten zu geben, sind in Fig. 11 Taf. I Papierstücke japanischen Ursprungs mit Rißstellen abgebildet, welche den bedeutenden Unterschied in der Faserlänge sofort erkennen lassen.

Man hat versucht, in Deutschland aus dem eingeführten Rohmaterial ebenso gute Papiere herzustellen, indessen ist dieser Versuch bisher nicht geglückt. Die Ursache hiervon dürfte wohl in der großen Geschicklichkeit, welche sich die Japaner uns gegenüber in der Handpapierfabrikation erworben haben, zu suchen sein.

Auch hat es nicht an Vorschlägen gefehlt, die Papierstoff gebenden Maulbeerpflanzen bei uns zu kultiviren, um so das Rohmaterial selbst erzeugen und die Papiere um vieles billiger herstellen zu können, jedoch ist über die Ausführung und den Erfolg dieser Vorschläge wenig bekannt geworden. Die Anpflanzungen von Papiermaulbeerbäumen an den Eisenbahndämmen um Frankfurt a/M. haben keine befriedigenden Erfolge gehabt.*)

II. Mikroskopische Merkmale der drei Faserarten.

Behufs Gewinnung eines vollkommen reinen Materials wurden Theile der gebleichten Rinden in der in der Versuchs-Anstalt üblichen Weise mit verdünnter Natronlauge behandelt und darauf zu einem Brei geschabt. Die Fasern hafteten nach dem Kochen kaum noch aneinander, sodaß ihre Trennung leicht zu bewerkstelligen war. Das Präpariren der Fasern geschah in wässriger Jodlösung.**)

1. Wickströmia canescens — (Gampi).

Durch Jodlösung nimmt die Gampifaser eine schwach citronengelbe Färbung an; die Faser ist walzenförmig, ziemlich kräftig gebaut und der Jutefaser sowohl im Bau als auch in der Färbung nicht ganz unähnlich, nur ist die letztere von durchschnittlich größerem Durchmesser als die Gampifaser, und es fehlen dieser die bei der Jute zu beobachtenden Bündel innig zusammenhängender Fasern. Auch mit der Bastfaser der Strohcellulose hat die Gampifaser bezüglich ihres anatomischen Baues einige Aehnlichkeit, jedoch ist die Farblosigkeit der ersteren gegenüber der gelblichen Färbung der letzteren ein genügender Anhalt, um Verwechselungen zu vermeiden. Das Lumen der Gampizelle ist im ganzen Verlauf derselben äußerst verschieden; oft nur als schmale, dunkle Linie sichtbar, (die sogar stellenweise bei einer 350fachen Vergrößerung nicht mehr wahrzunehmen ist) geht der Hohlkanal fast plötzlich in eine ziemlich große Breite über, die oft die Hälfte der Zellbreite ausmacht; nicht selten kann man diese plötzlichen Uebergänge auf der kurzen Strecke der Faser verfolgen, die man im Gesichtsfeld des Mikroskops überblickt. (Fig. 1, Taf. II).

*) A. J. J. Rein „Japan nach Reisen und Studien." Band II. S. 470.

**) Mittheilungen aus den technischen Versuchs-Anstalten. 1887. Sonderheft III: W. Herzberg, Mikroskopische Untersuchung des Papiers; bei der Angabe der Zusammensetzung der Jodlösung ist in diesem Heft der Zusatz von 1 ccm Glycerin vergessen worden. Vergleiche hierüber auch „Leitfaden für Papier-Prüfung" von W. Herzberg. S. 44.

Digitized by Google

Theilweiſe zeigt die Faſer eine ſehr deutlich hervortretende, ſtarke Längsſtreifung, ähnlich wie unſere Hanffaſer. Knotenförmige Auftreibungen, wie ſie unſere Leinenfaſern aufweiſen und die auch bei der Kodſufaſer zahlreich vorhanden ſind, zeigt die Gampifaſer in geringer Menge; dieſe Auftreibungen heben ſich durch eine dunklere Färbung ſehr deutlich von der hellgelben Faſer ab. (Fig. 1, Taf. III). Poren, vom Hohlkanal aus nach außen verlaufend, ſind ziemlich zahlreich.

Die Enden der Faſern ſind kolbenförmig und abgerundet; eine Neigung zur Verzweigung und Knoſpenbildung iſt ſelten zu beobachten. Sehr charakteriſtiſch iſt das Verhalten der Faſer zu einer Löſung von Kupferoxydammoniak Die Faſer quillt, bevor ſie in Löſung übergeht, auf und nimmt hierbei ein ſehr ſchön-perlſchnurartiges Ausſehen an. (Fig. 2—3, Taf. I und Fig. 2, Taf. II). Die Zellbreite, immer gemeſſen an der breiteſten Stelle einer jeden Faſer, ſchwankt nach den Meſſungen von E. Müller zwiſchen 7 und 20 μ (1 μ = 0,001 mm).

2. Edgeworthia papyrifera — (Mitsu-mata oder Dsuiko).

In Jodlöſung nimmt die Mitſumatafaſer, wie die ſoeben beſprochene Gampiſaſer eine ſchwach citronengelbe Färbung an.

Die Faſern ſind ſchlauchförmig, äußerſt zart und dünnwandig, aus welchem Grunde ſie häufig geknickt ſind und ſich, wie unſere Baumwollfaſer, vielfach überſchlagen. Infolge des außerordentlich zarten Baues der Zelle weiſt die Dſuikofaſer nach ihrer Verarbeitung zu Papier Zerſtörungserſcheinungen auf, die bei den beiden andern, weit kräftigeren Faſern ſehr ſelten zu beobachten ſind (Fig. 7, Taf. II). In gewiſſen Abſtänden ſchnürt ſich das Lumen der Zelle zuſammen, ſo daß daſſelbe zuweilen nur als eine ſchmale, dunkle Linie erſcheint, zuweilen auch auf kurze Strecken ganz verſchwindet. Die Zellwandung erſcheint an den Stellen der Einſchnürung etwas ſtärker als ſonſt und um ein Geringes dunkler gefärbt. Durch die zeitweiligen Einſchnürungen erhält das Lumen der Zelle ein ſehr unregelmäßiges, wechſelndes Ausſehen.

Die Enden der Faſern, die man ſehr zahlreich und unverſehrt vorfindet, ſind meiſt etwas abgerundet, ſeltener ſpitz oder keulenförmig verdickt. (Fig. 4, Taf. II zeigt eine Anzahl verſchiedenartig geſtalteter Faſerenden.) Eine eigenthümliche Erſcheinung iſt die Neigung der Faſer, ſich geweihartig zu gabeln. (Siehe Fig. 4, Taf. I.) Zuweilen kann man an einer Stelle die Abzweigung von 3—4 Zweigen beobachten. In Kupferoxydammoniak gebracht, quillt die Faſer auf, jedoch tritt die Perlſchnurbildung bei weitem nicht ſo deutlich auf, als bei der Gampifaſer. Meiſt geht der erfolgenden Auflöſung eine unregelmäßige, in verſchiedenen Theilen der Faſer verſchieden ſchnell fortſchreitende Aufquellung voraus. Der Durchmeſſer der Faſer, gemeſſen an der breiteſten Stelle, ſchwankt zwiſchen 7 und 24 μ.

3. Broussonetia papyrifera — (Kodsu).

Durch Jodlöſung wird die Kodſufaſer intenſiv braun gefärbt, iſt alſo ſchon durch dieſe Färbung mit keiner der vorher beſchriebenen Faſerarten zu verwechſeln.

Die Faſer, die kräftigſte von den drei beſchriebenen, iſt walzenförmig und der Leinenfaſer in Bezug auf Bau und Färbung nicht unähnlich; jedoch fehlen der Kodſu-

Digitized by Google

faser die bei der Leinenfaser auftretenden Zerstörungserscheinungen, und die Braunfärbung spielt bei der ersteren ins Röthliche, während die Leinenfaser stets mehr oder weniger intensiv, aber rein braun erscheint.

Der Hohlkanal ist ziemlich breit und verläuft verhältnißmäßig regelmäßig durch die ganze Faser; nur selten treten die Einschnürungen auf, welche bei der Gampi- und Mitsumatafaser zu beobachten sind.

Die Membrane zeigt vielfach, namentlich an den schmalen Stellen der Faser eine deutlich hervortretende starke Längsstreifung, ähnlich wie die Hanffaser. Von Zeit zu Zeit treten bei der Zellwandung Verdickungen auf, welche der Faser ein knotenartiges Aussehen verleihen. Poren sind ziemlich häufig und namentlich dort, wo die Faser den größten Durchmesser hat, sehr deutlich zu beobachten.

Zum Theil sind die Fasern von einem sehr zarten, farblosen Häutchen umgeben (Fig. 6, Taf. II), das namentlich an den Enden der Faser deutlich zu beobachten ist, indem es diese oft in bedeutender Länge und in mannigfaltiger Form überragt. Zuweilen lösen sich diese feinen Häutchen von der Faser los und erscheinen dann, schwach gelblich gefärbt, der Gampifaser nicht unähnlich.

Die Enden der Fasern sind meist abgerundet, nur selten keulenförmig verdickt (Fig. 5, Taf. II). Eine Verzweigung der Kodsufaser, beziehungsweise eine Knospenbildung wird man verhältnißmäßig selten beobachten.

Kupferoxydammoniak wirkt auf diese Faser nicht so schnell und energisch ein, als auf die Gampi- oder Mitsumatafaser; die Quellung erfolgt langsam und unregelmäßig (Fig. 5 u. 7, Taf. I). Der Durchmesser der Faser schwankt zwischen 14 und 31 μ.

Wenn man den Verlauf der Fasern eine längere Strecke verfolgt, so wird man beobachten, daß sich dieselben von Zeit zu Zeit etwas verbreitern; diese Ausbauchungen (Fig. 3, Taf. III) sind nicht etwa Folgen der Bearbeitung, sondern in dem anatomischen Bau der Zelle begründet. Unsere Hanf- und Leinenfasern hingegen verlaufen sehr regelmäßig, nach der Spitze zu sich allmählich verjüngend. Die Ausbauchungen der Kodsufaser in Verbindung mit dem umgebenden farblosen Häutchen und den natürlich abgerundeten Enden geben einen Anhalt, um einer Verwechslung mit Hanf oder Leinen vorzubeugen.

III. Herstellung des Papiers.

Die Herstellung des Papiers erfolgt in Japan zum weitaus größten Theil mittelst Handarbeit. Erst in den letzten Jahren hat man mit der Aufstellung von Papiermaschinen begonnen. Daß die im vorliegenden Falle untersuchten Papiere nicht aus Rohmaterial hergestellt sind, welches mit Maschinen zerkleinert worden ist, geht daraus hervor, daß die Fasern im Papier sich von den aus der Rinde entnommenen nicht wesentlich unterscheiden, mit Ausnahme des Mitsumatapapiers, dessen zarte Fasern, wie oben bereits erwähnt, schon durch das Bearbeiten mit dem Klopfholz theilweise zerstört werden.

Die Papiermacherei wird als eine Art Hausgewerbe ausgeübt zu einer Zeit, in welcher es dem Japaner an Arbeit auf dem Felde fehlt; fast jede Familie besitzt die Geräthe zur Herstellung von Papier.

Digitized by Google

Durch die vom Vater auf den Sohn übergehende Fabrikation erklärt sich auch die große Geschicklichkeit der japanischen Papierschöpfer. Sie sind unbestritten Meister in ihrem Fach.

Wenn wir sehen, daß Papierblätter von 1,8 m Länge und Breite mit Leichtigkeit gleichmäßig geschöpft werden, so kann man nicht umhin, dieser überaus großen Geschicklichkeit Anerkennung zu zollen. Der Versuch, bei uns aus eingeführtem japanischen Rohmaterial Papiere herzustellen, welche den japanischen an Qualität gleich kämen, dürfte an der minderen Uebung unserer Arbeiter bei Herstellung von Handpapier gescheitert sein.

Der Anbau der das Rohmaterial gebenden Maulbeerpflanzen geschieht in ähnlicher Weise, wie es bei uns mit der Weide zum Korbflechten der Fall ist. Der Baum treibt lange, gerade, astlose Schößlinge, welche nur an ihrem Ende ein Büschel Blätter tragen. Die Schößlinge werden gesammelt und sofort gekocht, um die Rinde von dem Holz zu trennen. Eine andere Art der Loslösung der Rinde von dem Holz ist die, daß man die Zweige auf einen Haufen wirft und längere Zeit sich selbst überläßt; der Pflanzensaft fängt an zu gähren, die ganze Masse erhitzt sich sehr bedeutend und die Rinde läßt hierbei vom Holze los. Die an der Sonne getrocknete und auf diese Weise mürbe gewordene Rinde wird dann verpackt und zu geeigneter Zeit für die Fabrikation verwendet oder dem Handel übergeben.

Um die äußere, grüne oder braune Rinde (epidermis) von der inneren, farblosen, den Papierstoff gebenden zu trennen, wird die ganze Masse einige Tage in reines Wasser gelegt und nunmehr die äußere Hülle abgeschabt. Die Arbeit des Abschälens ist eine sehr zeitraubende und mühsame; die abgeschabten Theile werden zur Herstellung geringwerthiger Papiere (chirogami) verwendet, welche als Packpapier oder zur Anfertigung von Taschentüchern für die ärmeren Volksklassen dienen. Nachdem die innere Rinde von der äußeren befreit ist, wird die erstere wieder, in Bündel geschnürt, zum Trocknen und Bleichen der Sonne ausgesetzt.

Es hat natürlich dieser Bleichprozeß unseren Bleichmethoden gegenüber sehr bedeutende Vortheile; ein Ueberbleichen der Fasern, welches bei der Anwendung von Chlorgas und Chlorkalk nur zu leicht platzgreifen kann und bei einem Theil der Fasern auch immer eintreten wird, vermeidet die japanische Bleiche vollkommen. Das erzielte Papier ist zwar infolge dessen nicht entschieden weiß, aber gerade wegen des gelblichen, dem Auge wohlthuenden Tones sehr begehrt.

Die zum Kochen der gebleichten Rinde erforderliche Lauge bereitet sich der Japaner durch Auslaugen von Pflanzenaschen selbst; auch Kalklauge findet unter Umständen Verwendung, wenn gebrannter Kalk in der Nähe und billig zu haben ist. Die gebleichte Rinde wird in der Lauge etwa 12 Stunden in einem offenen Kessel gekocht, so daß sie vollständig erweicht, und der Zusammenhang der einzelnen Fasern an einander völlig gelockert ist. Um die eingedrungene Lauge wieder zu entfernen, wird die Rinde einige Tage lang, in Körben verpackt, in fließendes Wasser gehängt, um dann auf einem Holzblock mit Hilfe von hölzernen Klöppeln zu Brei geschlagen zu werden. Nach Hofmann können in dieser Weise von einem kräftigen Manne etwa 80 Pfund Rinde in 10 Stunden zu Brei geschlagen werden.

Digitized by Google

Der letztere wird hierauf in geräumigen Bottichen mit Wasser angerührt, bis er die gewünschte, zum Schöpfen nöthige Dickigkeit besitzt und demselben darauf eine Pasta zugesetzt, die aus der gekochten Wurzel von Hibiscus-Manihot, beziehungsweise aus dem Bast von Hydrangea paniculata oder aus gekochtem Reis hergestellt wird. Die mit dem Pflanzenschleim geleimten Papiere nennt der Japaner Ki-gami, während die mit Reisstärke versetzten Nori-gami heißen.*) Um dem Papier ein schöneres Aussehen zu verschaffen, setzt man dem Papierbrei Reismehl zu, das zugleich eine Ausfüllung der Poren bewirkt. Beim Zerreißen eines solchen Papiers steigt das Reismehl als feine Staubwolke in die Höhe. Soll das Papier ein weißeres Aussehen erhalten, so werden dem Brei weiße mineralische Füllstoffe zugesetzt.

Die weitere Verarbeitung des Papierbreies geschieht nun in ganz ähnlicher Weise, wie in unseren Büttenpapierfabriken: der Stoff wird auf ein aus Bambusstäbchen, welche durch Seidenfäden zusammengehalten sind, bestehendes Sieb geschöpft, das Wasser läuft zum größten Theil ab und es bildet sich auf dem Schöpfrahmen durch Verfilzung der Fasern das Papierblatt; mehrere derselben werden übereinander gelegt, unter eine Presse gebracht und dann auf eine glatte Holzplatte aufgebürstet, um an der Sonne getrocknet zu werden.

IV. Verwendung des japanischen Papiers.

Die Verwendung des japanischen Papiers im Lande seiner Erzeugung ist eine so ungemein mannigfaltige, daß es in dieser Beziehung kaum von einem andern Fabrikate erreicht werden dürfte.

Man kann sich in der That nicht leicht eine Vorstellung machen, welche Vortheile der Japaner seinem geschmeidigen und festen Papier abzugewinnen versteht. Bindfaden erzeugt er aus einem Streifen Papier, welchen er auf den Knieen zusammenrollt. Maroquins, Wachsleinwand, Möbelplüsche und zahllose andere Handelsartikel werden aus Papier hergestellt. Wenn wir sehen, wie die Japaner ihr Papier zur Erzeugung von Geweben, Lederimitationen, Reisemänteln, Schirmen, Laternen, Fächern u. a. m. mit großer Geschicklichkeit und Kunstfertigkeit verwenden, so können wir dem intelligenten Volke unsere Anerkennung nicht versagen. Die Benutzung des japanischen Papiers in Europa jedoch dürfte wohl lediglich für den Druck von Bedeutung sein; einer allgemeineren Verwendung steht zunächst schon der verhältnißmäßig hohe Preis der Waare hindernd im Wege, und da bei fortschreitender Civilisation in Japan die Handarbeit seltener und deshalb das Handpapier noch theurer werden wird als bisher, so ist nicht anzunehmen, daß die japanischen Papiere jemals eine große Verbreitung bei uns erlangen werden. Der Reiz des Fremdartigen hat auch sicher viel dazu beigetragen, die japanischen Papiere so warm zu empfehlen.

Man hat die außerordentliche Festigkeit derselben in erster Linie betont; wozu aber gebraucht man ein so überaus festes Papier? So lange nicht nachgewiesen ist, daß die sehr große Festigkeit auch eine wesentlich vermehrte Dauerhaftigkeit des Papiers

*) Die japanische Bezeichnung für Papier ist k a m i, als Anhang an Eigennamen g a m i, wofür auch oft das chinesische Wort s h i Anwendung findet.

Digitized by Google

bedingt, ist eine übermäßige Festigkeit vollkommen nutzlos. Alte, ehrwürdige Urkunden, die viele Jahrhunderte überdauert haben und in gutem Zustand auf uns gekommen sind, haben oft eine viel geringere Reißlänge als die japanischen Papiere. Mehr als diese Papiere geleistet haben, verlangen wir von unseren heutigen Urkunden auch nicht, und deshalb darf man auch zu den wichtigsten Urkunden Papiere gebrauchen, welche bei uns angefertigt sind, und es giebt deren, welche in Bezug auf Festigkeit den japanischen Fabrikaten kaum etwas nachgeben. Zudem haben die letzteren eine unangenehme Eigenschaft, die eine Verwendung der Papiere als wichtiges Aktenmaterial geradezu unmöglich macht, und welche bei den Lobeserhebungen über das japanische Papier nie hervorgehoben wird. Reibt man nämlich die Oberfläche des Papiers mit der Hand oder mit einem zweiten Bogen, so lösen sich die Papierfasern leicht ab und die geriebene Stelle wird nach kurzer Zeit rauh und wollig, wie auf Fig. 6, Taf. I zu ersehen ist. Es liegt dieser Uebelstand wohl in der Art der Leimung, die, wie oben bemerkt, nur durch Pflanzenschleim bewirkt wird und nicht, wie in der europäischen Fabrikation, durch Gelatinebeziehungsweise Harzleimung. Durch diese beiden letzterwähnten Arten der Leimung werden die Fasern des Papierfilzes so fest mit einander verkittet, daß es nicht möglich ist, das Papier durch Reiben mit der Hand aufzurauhen. Der Pflanzenleim der Japaner besitzt diese Eigenschaft des starken Zusammenkittens nicht, und die Folge hiervon ist das leichte Loslösen der Fasern von der Papierfläche.

Man ersieht hieraus, daß, so lange nicht eine bessere Leimung angewendet wird, in allen Fällen, in denen das japanische Papier reibend mit anderen Körpern in Berührung kommt, sowie für Schreibzwecke eine Verwendung wesentlich beschränkt ist. Für feinere Drucke, die ja zumeist durch eine dünne Papierdecke geschützt sind, mag es indessen wohl kaum ein besseres Material geben.

V. Prüfungsergebnisse.

Die im Eingange erwähnten, vom deutschen Consul in Hiogo-Osaka übermittelten, japanischen Papiere waren durch viele Hände gegangen, oftmals gekniffen und befanden sich leider in einem Zustand, der vergleichbare Festigkeitsversuche vorzunehmen nicht erlaubte. Wegen der zahlreichen Kniffe konnte die Normalstreifenlänge*) von 0,18 m nicht aus ihnen entnommen werden. E. Müller hat mit den Papieren trotzdem Festigkeitsversuche ausgeführt, die in Folgendem (Tabelle B.) mitgetheilt werden sollen, weil sie wenigstens eine ungefähre Uebersicht über die Festigkeitseigenschaften der Papiere ergeben.

*) „Mittheilungen aus den Königlichen technischen Versuchs-Anstalten zu Berlin", 1885, und Dingler's „Polytechnisches Journal", 1885. 189. 258. A. Martens. Ueber den Einfluß der Länge und Breite der Probestreifen auf die Ergebnisse der Festigkeits-Untersuchungen von Papier.

Digitized by Google

Tabelle

Untersuchungen von E. Müller, Privat-Docent über die Festigkeitseigenschaften

Die Festigkeitsversuche wurden mit dem Hartig-Reusch'schen selbstzeichnenden Festigkeitsapparat ausgeführt. Die Normallänge von 0,18 m konnte nicht immer verwendet werden, weil die Proben vielfach geknifft waren. Die Dickenmessungen erfolgten an den nicht zerrissenen Streifen mit Hülfe eines Fischer'schen Dickenmessers.

Abkürzungen.

Farbe.
w = weiß,
g = gelb,
wg = weiß, ins Gelbliche spielend,
gbl = gelblich,
br = braun,
brlg = bräunlich gelb.

Durchsicht.
gl = gleichmäßig,
w = wolkig,
sw = schwach wolkig,
stw = stark wolkig,
str = streifig,
gr = gerippt.

Glanz.
s = satinirt,
r = rauh (nicht satinirt),
gs = gering satinirt.

Reißlänge.
R_1 = Reißlänge senkrecht zur Hauptrichtung (bezw. senkrecht zum Maschinenlauf),
R_1 kl = desgl. kleinster Werth,
R_1 gr = desgl. größter Werth,
$R_{''}$ = Reißlänge in der Hauptrichtung („ dem Maschinenlauf),
$R_{''}$ kl = desgl. kleinster Werth,
$R_{''}$ gr = desgl. größter Werth,
R = Mittelwerth aus R_1 und $R_{''}$.

Laufende Nr.	Papierbezeichnung	Farbe	Durchsicht	Gewicht für 1 qm in gr	Dicke in 0,001 Millimeter	Volumengewicht	Festigkeit: Reißlänge in km							
							R_1 kl	R_1	R_1 gr	$R_{''}$ kl	$R_{''}$	$R_{''}$ gr	R_1 $R_{''}$	R
a	„Gampi“	gbl	sw	12,6	30 31 32	0,41	4,77	5,00	5,18	9,1	9,4	9,7	0,53	7,2
b	„Kodsu“	g	str	22,1	72 75 80	0,30	—	3,00	—	—	5,5	—	0,55	4,2
c	„Mitsu-mata“	g	w	18,4	55 63 70	0,29	—	2,72	—	—	5,43	—	0,50	4,0
1	Kopigami	wg	str	8,18	12 14 18	0,58	3,20	3,50	3,67	9,8	10,6	12,2	0,33	7,0
2	Ussuyossi	wg	sw	10,0	20 22 26	0,41	3,00	3,44	3,75	10,0	10,8	11,8	0,32	7,1
3	Usunedzumi Progami	wg	str	23,1	39 45 49	0,52	5,05	5,25	5,40	9,7	10,3	10,7	0,51	7,7
4	Hiro Suki Tengujo	w	str	9,62	36 43 48	0,22	—	0,78	—	1,9	2,1	2,15	0,37	1,4
5	Hiro Suki Murasaki Irogami	wg	gl	7,81	15 17 19	0,46	3,85	4,16	4,48	11,8	12,2	12,8	0,34	8,1
6	Atsu Hankirigami	g	sw	37,8	58 64 70	0,59	6,30	6,72	7,20	13,0	14,9	16,0	0,45	10,0
7	Usu Hankirigami	gbl	sw	23,9	35 39 43	0,61	6,30	6,55	6,90	14,2	14,9	15,8	0,44	10,7
8	Nami Usu Hankirigami	gbl	sw	11,3	18 24 30	0,47	3,10	3,35	3,50	7,80	8,91	9,50	0,38	6,1

Digitized by Google

B.

an der Technischen Hochschule in Hannover,

japanischer Papiere.

Das Gewicht pro Quadratmeter ist aus dem Gewicht der Streifen berechnet, welche zerrissen wurden.
Die Aschen-Analysen sind Mittelwerthe aus je 2 Bestimmungen.

Abkürzungen.

Dehnung.

l_1 = Länge der Streifen, senkrecht zur Hauptrichtung herausgeschnitten,
$l_{''}$ = Länge der Streifen, in der Hauptrichtung herausgeschnitten,
δ_1 = Bruchdehnung der Streifen senkrecht zur Hauptrichtung,
$\delta_{''}$ = desgl. in der Hauptrichtung,
δ = Mittelwerth aus δ_1 und $\delta_{''}$.

Arbeitsmodul.

A_1 = Arbeitswerthziffer f. die senkrecht z. Hauptrichtung herausgeschnittenen Streifen } in $\frac{mkg}{gr}$
$A_{''}$ = desgl. für die „ (parallel) zur Hauptrichtung herausgeschnittenen Streifen,
A = Mittelwerth aus A_1 und $A_{''}$.

Prüfungen										Anzahl der Festigkeitsversuche	Stoffzusammensetzung	Aschengehalt %	Jodreaction	Temperatur ° C	Feuchtigkeit %
Dehnung in %						Arbeitsmodul in $\frac{mkg}{gr}$									
l_1 m	$l_{''}$ m	δ_1	$\delta_{''}$	$\frac{\delta_1}{\delta_{''}}$	δ	A_1	$A_{''}$	$\frac{A_1}{A_{''}}$	A						
44	140	4,3	1,6	2,65	2,9	0,115	0,08	1,44	0,10	4	Gampi	1,2	Jod bläut nicht	13,5	65
104	30	2,5	5,3	0,47	3,9	0,045	0,158	0,285	0,10	2	Kodsu	2,3	Jod bläut nicht	13,5	65
57	80	2,2	3,3	0,67	2,8	0,087	0,097	0,38	0,067	2	Mitsumata	1,4	Jod bläut nicht	13,3	66
135	83	1,9	2,4	0,79	2,15	0,04	0,14	0,29	0,09	7	Gampi	2,4	Jod bläut	14,0	57
133	85	1,9	2,5	0,75	2,2	0,042	0,144	0,294	0,093	9	2/3 Gampi 1/3 Mitsumata	1,5	Jod bläut	14,2	57
85	222	3,4	2,9	1,18	3,2	0,108	0,163	0,66	0,135	9	0,8 Gampi 0,2 Seide	4,3	Jod bläut nicht	13,5	55
55	265	1,8	1,0	1,8	1,4	0,008	0,013	0,610	0,010	4	Kodsu	1,4	Jod bläut	13,6	55
164	111	2,5	2,7	0,91	2,6	0,07	0,182	0,38	0,126	8	Kodsu	1,9	Jod bläut	13,3	58
110	150	3,6	3,0	1,18	3,3	0,144	0,245	0,59	0,195	8	Gampi	1,8	Jod bläut	13,5	53
108	148	3,5	2,75	1,28	3,1	0,143	0,246	0,58	0,195	10	Gampi	1,8	Jod bläut	13,5	55
112	148	2,2	2,4	0,92	2,3	0,048	0,118	0,41	0,083	10	1/3 Gampi 2/3 Mitsumata	2,5	Jod bläut nicht	13,5	53

Digitized by Google

Laufende Nr.	Papierbezeichnung	Farbe	Durchsicht	Gewicht für 1 qm in gr	Dicke in 0,001 Millimeter	Volumengewicht	Festigkeits- Reißlänge in km							
							$R_{\parallel}$ kl	$R_{\perp}$	$R_{\perp}$ gr	$R_{\parallel}'$ kl	$R_{\parallel}$	$R_{\parallel}$ gr	$R_{\perp}$ $R_{\parallel}$	B
9	Fu Hiyoshi	gbl	sw	84,9	115 131 139	0,65	7,10	7,19	7,24	12,8	13,8	14,4	0,52	10,5
10	Suki Iregami	wg	w	17,3	26 32 40	0,54	3,75	4,12	4,33	11,0	11,0	11,0	0,38	7,76
11	Eri Dai Hanshi	gbl	str	25,4	48 54 70	0,47	3,63	3,74	3,91	9,0	9,32	9,65	0,40	7,05
12	Fuku Kobanshi	wg	str	21,5	51 60 70	0,36	1,04	1,09	1,16	2,90	2,91	2,92	0,38	2,00
13	Eri Kobanshi	gbl	w	20,8	45 52 62	0,40	1,55	1,66	1,74	5,00	5,39	6,45	0,31	3,53
14	Kasu Kobanshi	brlg	stw	30,7	50 70 82 (190)	0,44	1,43	1,50	1,62	2,27	2,87	3,25	0,52	2,19
15	Atsu Dai Hanshi	wg	w	37,9	85 92 108	0,41	5,00	5,18	5,40	7,30	8,11	8,55	0,64	6,65
16	Usuyo Gampi O Hiro Koshi	wg	str	6,44	10 11 12	0,58	3,45	3,57	3,88	9,20	9,32	9,50	0,38	6,45
17	Nami Dai Hanshi	wg	w str	17,6	32 39 42	0,45	1,85	2,05	2,40	6,05	6,10	6,15	0,34	4,08
18	Usuyo Kobanshi	wg	w str	16,7	31 35 41	0,48	3,60	3,72	4,12	7,60	8,53	9,00	0,43	6,12
19	Usuyo Dai Hanshi	wg	w str	14,6	23 27 33	0,54	3,40	3,56	3,75	7,20	7,59	8,30	0,47	5,57
20	Gampi Kobanshi	g	w str	30,1	54 62 72	0,49	4,15	4,27	4,55	7,90	7,97	8,05	0,53	6,12
21	Tengujo	wg	str	8,71	29 31 32	0,28	1,08	1,13	1,18	3,30	3,34	3,37	0,34	2,21
22	Usuyo Dsuhikigami	wg	w str	8,01	17 19 22	0,42	1,68	1,71	1,87	6,00	6,34	7,05	0,27	4,03
23	Shime utsu shigami	wg	str	8,12	11 14 16	0,58	3,70	4,13	4,43	10,5	10,7	11,1	0,39	7,41
24	Menshi	wg	str	30,4	65 77 96	0,40	1,42	1,79	2,13	4,35	4,46	4,60	0,40	3,13
25	Kirokugami	g	str	50,2	70 100 125	0,50	5,08	5,30	5,48	6,80	7,08	7,25	0,75	6,19
26	Koppu	gbl	w	8,40	7 9 10	0,93	3,45	4,48	6,00	8,30	10,0	11,0	0,45	7,24
—	Violettes Papier	violett	str	15,0	20 22 24	0,68	4,33	4,40	4,67	12,0	13,0	14,0	0,34	8,50

* Bemerkungen: Zu Nr. 9. Zwei Blätter auf einander geklebt. Zu Nr. 10. Wasserzeichen. Zu Nr. 14.

Digitized by Google

Prüfungen										Anzahl der Reißlängenseiten	Stoffzusammensetzung	Aschengehalt %	Jodreaction	Temperatur ° C	Feuchtigkeit %
Dehnung in %						Arbeitsmodul in $\frac{mkg}{gr}$									
l_1 m	l_2 m	δ_1	δ_2	$\frac{\delta_1}{\delta_2}$	δ	A_1	A_2	$\frac{A_1}{A_2}$	A						
72	87	4,85	3,85	1,26	4,35	0,210	0,307	0,69	0,258	10	**Gampi**	2,2	Jod blaut	17,5	54*
83	87	3,0	3,3	0,92	3,12	0,076	0,198	0,38	0,137	6	**Gampi**	6,3	Jod blaut	14,3	57*
274	256	2,33	2,49	0,93	2,41	0,057	0,140	0,41	0,098	10	**Mitsumata**	9,0	Jod blaut	17,3	52
197	220	1,55	2,18	0,71	1,86	0,011	0,040	0,28	0,025	10	0,5 altes europ. Papier 0,4 „ japan. „ 0,1 Kodsu	3,5	Jod blaut nicht	14,1	55
204	221	2,00	2,23	0,89	2,12	0,022	0,075	0,29	0,048	10	Kudso Mitsumata	2,4	Jod blaut nicht	10,6	61
191	214	1,42	1,32	1,08	1,37	0,013	0,022	0,59	0,018	10	Abfälle von Gampi, Kodsu Mitsumata	9,1	Jod blaut nicht	13,2	60*
272	252	2,88	2,83	1,02	2,85	0,100	0,145	0,69	0,123	10	0,2 Kodsu 0,3 Gampi 0,5 Mitsumata	2,1	Jod blaut nicht	11,7	63
89	246	2,30	2,03	1,13	2,17	0,051	0,112	0,45	0,082	10	Gampi	1,0	Jod blaut nicht	11,4	63
276	260	1,70	2,30	0,74	2,00	0,023	0,087	0,27	0,055	10	Kodsu	8,3	Jod blaut nicht	13,9	66
203	218	2,42	2,50	0,97	2,46	0,060	0,132	0,47	0,086	10	0,4 Kodsu 0,3 Gampi 0,3 Dsuiko	3,81	Jod blaut	14,8	68
208	201	2,37	2,33	1,02	2,35	0,057	0,101	0,56	0,079	8	0,4 Kodsu 0,3 Gampi 0,3 Dsuiko	4,3	Jod blaut nicht	12,7	72
207	217	2,55	2,63	0,97	2,59	0,068	0,124	0,54	0,096	10	Gampi	16,0	Jod blaut nicht	12,4	60
171	252	1,54	1,23	1,24	1,39	0,012	0,025	0,47	0,018	4	Kodsu	0,85	Jod blaut	14,0	50*
265	342	1,18	2,00	0,59	1,59	0,013	0,078	0,17	0,045	10	0,7 Kodsu 0,2 Gampi 0,1 Dsuiko	1,0	Jod blaut	16,5	55
249	273	2,10	2,05	1,02	2,08	0,058	0,134	0,43	0,096	10	Gampi	1,5	Jod blaut	14,0	58
291	370	1,62	1,86	0,87	1,74	0,018	0,052	0,35	0,035	10	Kodsu	0,84	Jod blaut	13,3	66
329	306	3,07	3,08	1,00	3,08	0,108	0,139	0,78	0,124	10	0,6 Gampi 0,3 Dsuiko 0,1 Kodsu	4,2	Jod blaut	12,8	66
225	215	1,56	1,35	1,16	1,45	0,042	0,076	0,56	0,059	10	Gampi, Zusatz von Dsuiko	2,2	Jod blaut nicht	16,0	57
224	78	2,70	3,58	0,74	3,14	0,077	0,252	0,31	0,105	10	Gampi, Zusatz von Dsuiko	2,5	—	14,7	70

Papier sehr knotig. Zu Nr. 21. Zusammengefaltet. Versuchsstreifen 100 mm breit.

Digitized by Google

Wenn man die für die japanischen Papiere gefundenen Zahlenwerthe überblickt, so erscheinen einzelne derselben geradezu erstaunenerregend. Einmal muß die Geschicklichkeit der Arbeiter bewundert werden, welche so feine Papiere so gleichmäßig schöpfen können, und andererseits die sorgfältige und schonende Herstellung der Rohstoffe für die einzelnen Papiere, welche so hohe Festigkeitswerthe bedingt.

Das leichteste Papier Nr. 16 (**Usujo Gampi O Hiro Koshi**) z. B. wiegt nur 6,44 gr pro qm bei einer Dicke von 10 bis 12 μ und trotzdem schwankt die Festigkeit in der Querrichtung nur 8,7 % und in der Längsrichtung nur um 2,0 % von den Mittelwerthen.

Die Festigkeit steigt beim Papier Nr. 6 (**Atsu Hankirigami**) nach der Hauptrichtung im Mittel auf 14,9 km Reißlänge (in einem Falle sogar bis auf 16 km) während der Mittelwerth sich immer noch auf 10,8 km ergiebt.

Diese ausnehmend große Festigkeit verdankt das japanische Papier in erster Linie wohl der bedeutenden Länge seiner Fasern bei gleichzeitig großer Feinheit derselben. Es behalten die Bastfasern der Rohstoffe in Folge des sorgfältigen Zerkleinerungsverfahrens, welches nur durch senkrechten Druck die Faserbündel in der Längsrichtung auseinanderspaltet, vielfach ihre ursprüngliche Länge bei.

So fanden sich nach E. Müller beispielsweise in dem Papiere Nr. 4 aus Kodsu „Hiro Suki Tengujo“ (Tengujo entspricht ungefähr unserem „preisgekrönt“) häufig Fasern von 11 mm, ja sogar von 15 mm Länge vor. Von günstigem Einfluß auf die Festigkeitseigenschaften ist ferner auch das langsame Trocknen der Blätter an der Luft, gegenüber dem gewöhnlich scharfen Trocknen auf geheizten Walzen bei unseren Maschinenpapieren. Eine höchst auffallende Erscheinung, im Gegensatz zu den vielfach außerordentlichen Zahlenwerthen für die Festigkeit, ist die verhältnißmäßig geringe Bruchdehnung. Während für die erste Festigkeitsklasse der „Grundsätze für amtliche Papierprüfungen“ bei einer Reißlänge von 6 km schon eine Dehnung von 4,5 % verlangt und dieser Werth bei Papieren solcher Festigkeit weit oft überschritten wird, zeigt beispielsweise das Papier Nr. 6 bei einer mittleren Reißlänge von 10,8 km nur eine mittlere Dehnung von 3,3 %; es würde dieses Papier also trotz seiner außerordentlichen Festigkeit nur zur dritten Festigkeitsklasse gerechnet werden können. Die Ursachen dieser Erscheinung, welche bei einem von so außergewöhnlich langen Fasern hergestellten Papier sehr befremdet, ist wohl in der Fabrikation zu suchen; denn daß aus demselben Material auch Papiere von großer Dehnung herzustellen sind, beweist die in Tabelle C erfolgte Zusammenstellung von in der mechanisch-technischen Versuchs-Anstalt gewonnenen Untersuchungsergebnissen von 10 zur Herstellung des sogenannten Lederpapiers bestimmten Blättern.

Das geschöpfte Papierblatt wird zu dem Zwecke künstlich nachträglich mit Falten versehen, und die 10 erwähnten Papiersorten stellen 10 verschiedene Stadien der Zubereitung dar. Ein beträchtlicher Theil der gewonnenen Dehnung ist natürlich auf die dem Papier künstlich beigebrachten, narbigen Fältelungen zu verrechnen.

Digitized by Google

Tabelle C.

Lfde. Nr.	Bezeichnung des Papiers	Des Probestücks: Länge mm	Breite mm	Gewicht gr	Bruchbelastung kg	Feinheits-Nummer	Reißlänge km	Dehnung %	Aschengehalt %	Mikroskopische Untersuchung	Temperatur °C	Feuchtigkeit %
1	Abstufung a	180	15	0,455	6,10	0,396	2,42	3,3	3,8		21,0	64
				0,501	3,49	0,359	1,25	18,5				
						Mittel	1,84	10,9				
2	„ b	„	„	0,522	5,95	0,345	2,05	3,8			20,0	65
				0,453	2,80	0,397	1,15	15,4				
						Mittel	1,60	9,6				
3	„ c	„	„	0,413	3,80	0,436	1,66	4,3			20,0	61
				0,413	2,10	0,436	0,92	8,2				
						Mittel	1,29	6,3				
4	„ d	„	„	0,471	4,01	0,382	1,53	8,6			20,2	65
				0,533	2,38	0,338	0,80	16,5				
						Mittel	1,17	12,6				
5	„ e	„	„	0,550	4,39	0,527	1,44	6,7			20,8	71
				0,497	2,58	0,362	0,93	18,6				
						Mittel	1,19	12,7				
6	„ f	„	„	0,465	4,32	0,387	1,24	5,8			19,2	75
				0,416	2,79	0,433	1,21	11,6				
						Mittel	1,23	8,7				
7	„ g	„	„	0,489	2,63	0,368	0,97	6,4			20,6	74
				0,525	1,78	0,343	0,61	10,8				
						Mittel	0,79	8,6				
8	„ h	„	„	0,483	2,13	0,373	0,79	6,5			19,6	70
				0,489	1,50	0,368	0,55	11,1				
						Mittel	0,67	8,8				
9	„ i	„	„	0,419	2,22	0,430	0,95	3,6			20,2	68
				0,482	1,46	0,373	0,54	10,9				
						Mittel	0,75	7,3				
10	„ k	„	„	0,626	2,68	0,259	0,69	15,7			19,0	75
				0,634	1,57	0,284	0,45	20,7				
						Mittel	0,57	18,2				

Wegen zu wenigen Materiales konnten die übrigen Versuche nicht ausgeführt werden.

Kohle- und Gampfiltern

Auffallend ist bei den Resultaten der Tab. C die Abnahme der Festigkeit von Stufe a bis k; es scheint darnach, als ob die vorerwähnte Bearbeitung der Blätter die Festigkeit derselben vermindert hat.

Digitized by Google

Zum Schluß mögen noch die Resultate der Prüfungen einiger Papiersorten mitgetheilt werden, welche von der Kunsthandlung von R. Wagner, Berlin, in den Handel gebracht worden und aus den Kaiserlich Japanischen Papierfabriken in Tokio (Jusetsu-Kioku) herrühren. (Tab. D.) Die Bezeichnungen der einzelnen Sorten sind mit den im Wagner'schen Musterverzeichniß aufgeführten übereinstimmend.

Tabelle A.

Zusammenstellung der vom Kaiserlich Deutschen Konsul zu Hiogo-Osaka eingesandten Papiersorten.

I. Fabrikate der Kochi-Seishijo (Kochi-Papierfabrik), ein Name, der nicht ganz richtig gewählt ist, da diese Anlage die größte, aber nicht die einzige ihrer Art ist.

Nr. 1. Kopigami verfertigt aus Gampi-Rinde. Die Pflanze (s. a. der beigeschlossenen Exemplare) wächst wild in den Bergen des Kochi-Ken. 10 Kuwamme Gampi (1 Kuwamme = 4,83 kg) werden mit 18 Sho Kalk (1 Sho = 2 kg) in Wasser abgekocht. Man legt die Masse darauf 24 Stunden in fließendes Wasser. Nachdem die unreinen Bestandtheile abgesondert sind, wird sie wiederum in Wasser gelegt. Sie wird sodann auf einem Brett zu Brei zerschlagen. Ein dünner, getrockneter Aufstrich desselben liefert das Papier. — Das Blatt kostet $6^1/_2$ rin = 2,6 Pf.

Nr. 2. Ussuyossi verfertigt aus 2 Theilen Gampi-Rinde und einem Theil Dsuiko (Mitsumata). Die letztere Pflanze (s. b.) wird in den Bergen des Kochi-Ken angepflanzt. Das Verfahren ist das gleiche, wie das unter Nr. 1 angegebene. Bisweilen wird auch Soda anstatt Kalk angewendet. — Das Blatt kostet $6^1/_2$ rin = 2,6 Pf.

Nr. 3. Usunedzumi Progami verfertigt aus 8 Theilen Gampi und 2 Theilen Kokons der Seidenraupe. Letztere werden gekocht, zu Brei zerquetscht und mit dem Gampi vermischt. — Das Blatt kostet 4 Sen = 16 Pf.

Nr. 4. Hiro Suki Tengujo, verfertigt aus dem besten Kodsu, einer Pflanze (s. c.), die in den Bergen von Kochi kultivirt wird. — Das Blatt kostet 1,05 Sen = 4,2 Pf.

Nr. 5. Hiro Suki Murasaki Irogami, verfertigt aus dem besten Kodsu. — Das Blatt kostet 4 Sen = 16 Pf.

Nr. 6. Atsu Hankirigami, verfertigt aus Gampi. — 10 Blätter kosten 2,7 Sen = 10,8 Pf.

Nr. 7. Usu Hankirigami, verfertigt aus Gampi. — 10 Blätter kosten 1,85 Sen = 7,4 Pf.

Nr. 8. Nami usu Hankirigami, verfertigt aus 1 Theil Gampi und 2 Theilen Dsuiko. — 10 Blätter kosten 1,15 Sen = 4,6 Pf.

Digitized by Google

Nr. 9. Fu Hiyoshi, verfertigt aus Gampi. — Das Blatt koſtet 3 Sen = 12 Pf.

Nr. 10. Suki Iregami, verfertigt aus Gampi. — Das Blatt koſtet 1 Sen = 4 Pf.

Nr. 11. Eri Dai Hanshi, verfertigt aus Dsuiko mit Soda gekocht. — 20 Blatt koſten 3 Sen = 12 Pf.

Nr. 12. Fuku Kobanshi, verfertigt aus 5 Theilen eingekochtem alten europäiſchen Papier, 4 Theilen eingekochtem alten japaniſchen Papier und 1 Theil Kodsu; auch beſchriebene Papiere laſſen ſich verwenden. — 20 Blatt koſten 1,1 Sen = 4,4 Pf.

Nr. 13. Eri Kobanshi, verfertigt aus Kodsu und Dsuiko. — 20 Blatt koſten 1,5 Sen = 6 Pf.

Nr. 14. Kasu Kobanshi, verfertigt aus Abfällen von Gampi, Kodsu und Dsuiko. — 20 Blatt koſten 6 rin = 2,4 Pf.

II. Erzeugniſſe aus anderen Papierfabriken Kochi's, überſandt durch den dortigen Vice-Gouverneur, Herrn Yamada.

Nr. 15. Atsu Dai Hanshi, verfertigt aus 2 Theilen Kodsu, 3 Theilen Gampi und 5 Theilen Dsuiko, gekocht mit Soda. — 20 Blatt koſten 4,5 Sen = 18 Pf.

Nr. 16. Usuyo Gampi O Hiro Koshi, verfertigt aus Gampi mit Soda gekocht. — 5 Blatt koſten 10 Sen = 40 Pf.

Nr. 17. Nami Dai Hanshi, verfertigt aus Kodsu mit Kalk gekocht. — 20 Blatt koſten 2 Sen = 8 Pf.

Nr. 18. Usuyo Kobanshi, verfertigt aus 4 Theilen Kodsu, 3 Theilen Gampi und 3 Theilen Dsuiko, mit Soda und Kalk gekocht. — 20 Blatt koſten 3 Sen = 12 Pf.

Nr. 19. Usuyo Dai Hanshi, verfertigt wie Nr. 18 mit Kalk und Soda gekocht. — 20 Blatt koſten 4 Sen = 16 Pf.

Nr. 20. Gampi Kobanshi, verfertigt aus Gampi mit Soda gekocht. — 20 Blatt koſten 4 Sen = 16 Pf.

Nr. 21. Tengujo, verfertigt aus Kodsu mit Soda gekocht. — 20 Blatt koſten 6 Sen = 24 Pf.

Nr. 22. Usuyo Dsuhikigami, verfertigt aus 7 Theilen Kodsu, 2 Theilen Gampi, 1 Theil Dsuiko, mit Soda gekocht. — 10 Blatt koſten 20 Sen = 80 Pf.

Nr. 23. Shime utsu shigami, verfertigt aus Gampi mit Soda gekocht. — 20 Blatt koſten 6,6 Sen 26,4 Pf.

Nr. 24. Menshi, verfertigt aus Kodsu mit Soda gekocht. — 20 Blatt koſten 8 Sen = 32 Pf.

Nr. 25. Kirokugami, verfertigt aus 6 Theilen Gampi, 3 Theilen Dsuiko, 1 Theil Kodsu, mit Soda gekocht. — 20 Blatt koſten 60 Sen = 2,40 Mk.

Nr. 26. Koppu. Angaben über die Bereitung fehlen. — 18 Blatt koſten 3,6 Sen = 14,4 Pf.

Den erhaltenen Mittheilungen zufolge würde nur bei ſehr bedeutenden Beſtellungen eine Preisermäßigung eintreten.

Digitized by Google

Tabelle D.

Lfd. Nr.	Bezeichnung des Papiers	Gewicht des qm gr	Dicke des Papiers mm	Reißlänge km	Mittlere Reißlänge km	Dehnung %	Mittlere Dehnung %	Widerstand gegen Zerknittern	Aschengehalt %	Mikroskopische Untersuchung	Temperatur ° C.	Feuchtigkeit %
1	A_1	63,41	0,065	5,81 4,48	5,15	2,2 2,2	2,2	Außerordentlich groß.	2,03	Gampi-Fasern.	19,0	80
2	B_1	82,20	0,103	8,92 6,07	7,50	4,0 3,4	3,7		2,44		22,0	66
3	C	97,00	0,103	7,65 5,90	6,78	4,0 3,8	3,9		2,24		20,8	81
4	D_1	97,09	0,113	8,46 6,85	7,66	3,7 4,0	3,9		2,30		20,0	70
5	H	115,38	0,131	7,17 5,90	6,54	4,7 5,4	5,1		1,99		20,8	80
6	J_1	120,80	0,138	8,14 6,62	7,38	3,2 3,8	3,5		2,08		19,0	80
7	G	132,09	0,152	7,28 6,15	6,72	3,8 3,9	3,9		2,17		23,4	74
8	E	138,38	0,154	6,35 5,44	5,90	3,9 4,3	4,1		2,14		23,4	74
9	F	138,82	0,155	7,03 6,42	6,73	3,5 3,7	3,6		2,21		23,4	74
10	K	146,10	0,159	7,30 6,19	6,75	3,6 3,4	3,5		2,48		23,4	74
11	L	188,78	0,204	7,78 6,04	6,91	4,2 4,0	4,1		2,65		21,8	78
12	M	197,30	0,200	9,10 7,80	8,45	4,4 5,2	4,8		2,01		21,8	78

Sämmtliche Papiere sind leimfest, frei von Säure und ohne Holzschliff.

Die Festigkeitsversuche wurden hier, wie auch bei den in Tab C. aufgeführten Papiersorten mit dem Zerreißapparat von Hartig-Reusch, die Aschenbestimmungen mit der Reimann'schen Aschenwage ausgeführt.

Verantwortlicher Redacteur: Dr. Hermann Wedding. — Verlag von Julius Springer in Berlin.

Druck von H. S. Hermann in Berlin.

Fig. 1. Gampi
Fig. 2—3. Du
Fig. 4. Gegab
Fig. 5. Durch
Fig. 6. Aufge
Fig. 7. Durch
Fig. 8. Kodsu
Fig. 9—10. M
(Fig. 10. Dur

Fig. 11. Riss-l

Digitized by Google

Digitized by Google

Mitsumatafasern. — Fig.
7. Mitsumatafasern.

Digitized by Google

Digitized by Google

ekocht und in
aparirt.

von A. Frisch in Berlin.

Digitized by Google

Digitized by Google

Mittheilungen
aus den
Königlichen technischen Versuchsanstalten
zu Berlin.
Herausgegeben im Auftrage der Königlichen Aufsichts-Kommission.

Redacteur: Geheimer Bergrath Dr. Wedding,
Mitglied der Königl. Aufsichts-Kommission.

Ergänzungsheft V. 1888.

Bericht

über die im Auftrage des Herrn Ministers für Handel und Gewerbe ausgeführten vergleichenden Untersuchungen

von

Seilverbindungen

für

Fahrstuhlbetrieb

Theil I. Ergebniß der Untersuchungen für ruhende Belastung

erstattet von

A. Martens
Vorsteher der mechanisch-technischen Versuchsanstalt

Berlin.
Verlag von Julius Springer
1888.

Digitized by Google

Auf Grund der Ergebnisse einer mit dem Kortüm'schen Seilschloß angestellten Untersuchung auf Festigkeit der Verbindung mit dem Seile ordnete der Herr Minister für Handel und Gewerbe eine entsprechende Untersuchung mit anderweitigen beim Fahrstuhlbetrieb benutzten Seilverbindungen an. Hierbei sollten besonders diejenigen Konstruktionen berücksichtigt werden, welche von der Königlichen technischen Deputation für Gewerbe in einem Bericht vom 12. Februar 1886 namhaft gemacht waren, und zwar sollten die Versuche sowohl auf Festigkeitsprüfungen mit ruhender als auch auf solche mit stoßweis angreifender Last ausgedehnt werden.

Der erste Theil dieser Aufgabe, die Prüfung mit ruhender Belastung, ist nunmehr mit einer großen Zahl von Seilverbindungen vollendet worden. Ueber die hierbei gewonnenen Erfahrungen soll schon jetzt berichtet werden, obwohl der zweite Theil des Auftrages, die Prüfung mit stoßweiser Beanspruchung, noch nicht in Angriff genommen worden ist.

Da ein Vergleich der bei den Voruntersuchungen mit dem Kortüm'schen Seilschloß gewonnenen Ergebnisse mit denen aus der jetzt abgeschlossenen Reihe von Interesse ist, so werden die ersteren vorausgeschickt.

A. Vorversuche mit dem Kortüm'schen Seilschloß.

Die Veranlassung zu diesen Untersuchungen gab das Versagen eines Kortüm'schen Seilschlosses, welches zur Verbindung eines Fahrstuhles mit dem Seile diente. Das Seil war aus dem Schloß herausgeglitten und mit dem fallenden Stuhl war ein Mensch verunglückt. An die Versuchs-Anstalt gelangte der Auftrag, die Festigkeit der Verbindung an demjenigen Schlosse festzustellen, welches das Unglück veranlaßt hatte, ferner an einem aus dem Betriebe entnommenen und endlich an neuen Schlössern. Die Versuche haben die folgenden Ergebnisse geliefert.

Fig. 1.

a. Untersuchung einer ohne Beanstandung im praktischen Gebrauch gewesenen Kortüm'schen Seilverbindung.

Material. Das Schloß A nebenstehender Skizze wurde mit dem darin befestigten Förderseilende von 40 cm Länge am 29. Juni 1886 durch das Königliche Polizei-Präsidium zu Berlin beschafft und von demselben über den Ursprung dieses Probestückes Folgendes ermittelt:

Das Seil wurde von der Firma Felten & Guilleaume zu Mülheim a. Rh. geliefert, am 1. November 1884 durch einen Monteur des Fabrikanten Kortüm zu Berlin mit dem Schloß verbunden und stand seit diesem Tage in Gebrauch. Die größte Belastung betrug 500 kg. Die Auswechselung erfolgte lediglich zum Zweck der Untersuchung.

Zur Befestigung des freien Seilendes des Probestückes wurde dasselbe am 13. Juli 1886 in der Versuchs-Anstalt und in Gegenwart des Vorstehers

Digitized by Google

durch einen Monteur des Fabrikanten Kortüm mit einem Seilschloß B (Fabrikbenennung X 14) versehen, wobei den Vorschriften „Ueber das Montiren der Kortüm'schen Seilschlösser" entsprechend ein Dorn in den Kopf des Seiles eingetrieben wurde. Diese Vorschriften lauten:

„Ist das Seil etwas zu dünn, oder hat dasselbe auch in den Litzen Hanfseelen, so treibt man, nachdem die Keile eingesetzt worden sind, einen oder einige Dorne (Nagelspitzen) in den Kopf des Seiles. Diese Dorne dürfen aber nicht tiefer hineingetrieben werden, als die Keile. Ist nämlich der innere Raum des Gehäuses nicht gut ausgefüllt, so können die Keile bei der Belastung so tief hineingleiten, daß die Spitzen derselben aus dem Gehäuse hervorlugen und nach und nach eine Zerstörung des Seils herbeiführen."

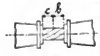
Das Seil von 13 mm Durchmesser besteht aus einer Hanfseele und 6 Litzen mit je 14 Drähten. In der einen Litze hatten die Drähte sich verschoben, sodaß dieselben um etwa 2 mm klafften.

Die Prüfung wurde auf der Werder-Maschine ausgeführt. Alle hierbei nothwendig gewordenen Aenderungen an der Seilbefestigung sind durch den Gehülfen der Versuchs-Anstalt ausgeführt worden.

Versuchsergebnisse. Zur Bestimmung der Größe der Verschiebung des Seiles, beziehentlich der Keile in den Schlössern wurden an der Probe vier Marken nach vorstehender Skizze festgelegt und die Längenänderungen an denselben mit Hülfe eines Zirkels bestimmt.

	Belastung	Längen-Abmessungen in mm						Bemerkungen
		a		b		c		
	kg	absolut	Differenz	absolut	Differenz	absolut	Differenz	
	100	30,2	—	37,0	—	36,0	—	
	500	30,3	0,1	37,5	0,5	36,8	0,8	
a	1000	30,5	0,2	38,6	1,1	44,5	8,5	Das Seilende im Schloß B zieht sich durch, ohne die Keile mit vorzuziehen.
	100	30,2	0,0	37,8	0,8	44,0	8,0	Nachdem die Probe aus der Maschine herausgenommen, werden die Keile im Schloß B nachgetrieben.
	100	30,2	—	37,8	—	44,3	—	
	1000	30,5	0,3	39,0	1,2	45,1	0,8	
	1500	30,7	0,2	40,5	1,5	46,7	1,6	
b	2000	—	—	—	—	—	—	Das Seilende im Schloß A zieht sich durch.
	100	31,0	0,8	55,0	17,2	47,8	3,5	Entlastet und die Keile im Schloß A nachgetrieben.
	100	31,0	—	54,6	—	47,5	—	
	2000	31,8	0,8	56,3	1,7	47,7	0,2	
c	2500	—	—	—	—	—	—	Das Seilende im Schloß B zieht sich durch.
	100	31,2	0,2	55,7	1,1	53,2	5,7	Entlastet und die Keile im Schloß B nachgetrieben
	100	31,2	—	55,8	—	53,5	—	

Digitized by Google

	Belastung kg	Längen-Abmessungen in mm a absolut	a Differenz	b absolut	b Differenz	c absolut	c Differenz	Bemerkungen
c	2500	—	—	—	—	—	—	Das Seilende im Schloß B wurde vollkommen durchgezogen. Es zeigte sich, daß die Rücken der Keile verrostet waren, so daß sie nicht frei im Schloß gleiten konnten. Die Rücken der Keile und die Wandungen des Schlosses wurden mit einer Schlichtfeile vom Rost gesäubert und eingeölt, darauf wurde das Seilende mit Hülfe derselben Keile, deren Zähne beim Durchziehen des Seiles abgeschliffen waren, nochmals befestigt und von Neuem geprüft.
	100	32,0	—	38,8	—	37,8	—	Die Marken sind in gleicher Weise, wie vorher, von Neuem festgelegt.
	500	32,2	0,2	39,3	0,5	38,1	0,3	
	1000	32,2	0,0	39,5	0,2	39,0	0,9	
	1500	32,1	— 0,1	39,8	0,3	46,0	7,0	Gleiten des Seilendes im Schloß B.
	100	32,0	± 0,0	39,0	0,2	45,8	8,0	Entlastet. Bei Schloß B in den Kopf des Seiles ein Dorn eingetrieben und die Keile festgeschlagen.
	100	31,8	—	38,7	—	45,8	—	
	1500	32,0	0,2	39,8	1,1	46,2	0,4	
	2000	32,0	0,0	40,0	0,2	46,8	0,6	
d	2500	32,0	0,0	41,0	1,0	48,2	1,4	
e	3000	—	—	—	—	—	—	Gleiten des Seilendes im Schloß B. Das Seilende wird vollkommen durchgezogen und unter Anwendung eines Dornes und der alten Keile nochmals befestigt.
	100	—	—	6,4	—	6,4	—	Der geringen Länge des freiliegenden Seiles wegen wurde eine neue Marke nach nebenstehender Skizze festgelegt und deren Entfernung vom Ende der Schlösser mit einem Taster gemessen. 
	500	—	—	7,0	0,6	6,8	0,4	
	1000	—	—	7,0	0,0	6,8	0,0	
	1500	—	—	7,2	0,2	8,2	1,4	
	2000	—	—	—	—	—	—	Gleiten des Seilendes im Schloß B; die Keile haben sich schief gestellt und bleiben stecken. Dieselben werden zurück getrieben, und es zeigt sich, daß der in den Kopf des Seiles eingetriebene Dorn seitlich hervorgetreten ist, so daß die Zähne des einen Keiles nicht in das Seil haben eingreifen können.

Besprechung der Ergebnisse. Aus den Versuchen ergiebt sich, daß in der alten Seilbefestigung A das erste wesentliche Gleiten *b**) bei einer Beanspruchung mit 2000 kg = der 4 fachen Nutzbelastung eingetreten ist; daß die Belastung aber nach

*) Die Cursiv-Buchstaben dienen als Hinweis auf die betreffenden Stellen im vorstehenden Versuchs-Protokoll.

Digitized by Google

Anziehen der Keile ohne Gefahr für die Haltbarkeit der Befestigung bis auf 3000 kg *c* oder bis auf die 6fache Nutzbelastung hat gesteigert werden können.

Dagegen zeigt die neu hergestellte Seilbefestigung anfänglich nur eine Festigkeit von 1000 kg *a* = der doppelten Nutzlast; durch Nachziehen der Keile wurde dieselbe auf etwa 4—5fache Nutzlast gebracht *c* und durch Eintreiben eines Dornes in den Kopf des Seiles zwischen die Keile bis auf mindestens 5fache Nutzlast gesteigert. *d*.

Zeigen schon diese Ergebnisse, daß die Güte der Befestigung von wesentlichem Einfluß auf die Sicherheit dieser Seilverbindung ist, so tritt dies besonders bei dem letzten Theil der Versuche zutage, bei dem die Verbindungsfestigkeit infolge mangelhaften Einspannens (schiefes Eintreiben des Dornes und Behinderung der Keilwirkung) auf eine höhere Sicherheit als die kaum 4fache Nutzlast nicht gebracht werden konnte.

Da das kurze Seilende ein nochmaliges Einspannen nicht mehr gestattete, so mußte der Versuch abgebrochen werden, ohne daß die Bruchfestigkeit der alten Seilbefestigung im Schloß A, beziehentlich die Maximal-Tragkraft des Seiles ermittelt werden konnte.

B. Untersuchung der Festigkeit einer Kortüm'schen Seilbefestigung unter Verwendung alter Keile mit abgeschliffenen Zähnen.

Fig. 2.

Material. Das Schloß A nebenstehender Skizze, dessen Versagen das Unglück bei Benutzung eines Fahrstuhles auf dem Grundstück Zehdenickerstraße Nr. 12b am 6. Januar 1886 veranlaßt hatte, wurde durch die Königliche Kommission zur Beaufsichtigung der technischen Versuchs-Anstalten mit Verfügung vom 25. März 1886 zur Prüfung vorgelegt.

Um die Festigkeit einer mit diesen alten Keilen hergestellten Seilverbindung zu ermitteln, wurde von der Firma C. Kortüm in Berlin ein neues gewöhnliches Transmissionsseil aus geglühtem Bessemer-Stahl-Draht, sowie ein zweites Seilschloß B gleicher Größe bezogen. Der Durchmesser dieses Seiles betrug 16 mm; derselbe ist von dem Monteur des Lieferanten als zu dem Schloß, dessen Fabrikbenennung X 16 sein soll, passend bezeichnet.

Beide Schlösser wurden von dem Monteur des Fabrikanten Kortüm in Gegenwart eines Beamten der Anstalt am Seil befestigt und zwar das alte Schloß A, wie ursprünglich, unter Verwendung eines Dornes, der zwischen die Keile in den Kopf des Seilendes eingetrieben wurde.

Das Seil bestand aus einer Seele und sieben Litzen mit je sieben Drähten; die Seele lag an mehreren Stellen bloß.

Versuchsergebnisse. Die Prüfungen sind auf der Werder-Maschine ausgeführt. Die Verschiebungen des Seiles, beziehentlich der Keile in den Schlössern, sowie die Dehnung des Seiles wurden an Marken gemessen, die auf dem Seile und den Schlössern angebracht waren. Die Messung erfolgte bei Bestimmung der Dehnung durch direktes Anlegen eines Maßstabes, im Uebrigen mit Hülfe eines Zirkels.

Belastung kg	Längen-Abmessungen in mm a absolut	a Differenz	b absolut	b Differenz	c absolut	c Differenz	Bemerkungen
100	750,0	—	45,5	—	45,7	—	
500	751,5	1,5	46,2	0,7	46,8	1,1	
1000	753,0	1,5	49,0	2,8	50,0	3,2	
1500	754,0	1,0	53,0	4,0	53,8	3,8	
2000	755,5	1,5	56,5	3,5	61,3	7,5	
2500	761,0	5,5	60,8	4,3	68,0	6,7	
3000	782,0	21,0	68,5	7,7	72,8	4,8	
3500	803,0	21,0	74,7	6,2	78,0	5,2	
4000	837,0	34,0	82,0	7,3	84,0	6,0	Der Kolben der hydraul. Presse ist am Ende seines Weges angelangt, daher wird entlastet.
100	832,5	82,5	81,8	36,3	83,2	37,5	Bleibende Längen-Aenderungen. — Nachdem vollkommen entlastet und der Kolben zurückgeführt war, wurde ein neues Zwischenstück (Laterne) in die Maschine eingebaut und der Versuch fortgesetzt.
100	832,5	—	81,8	—	83,2	—	
4000	—	—	—	—	—	—	Bevor diese Belastung wieder erreicht war, erfolgte der Bruch des Seiles. Es rissen 5 Litzen im Schloß B etwa auf halber Keillänge. Der eine Keil war stecken geblieben. Nach beendigtem Versuch wurde die Verbindung bei B gelöst, wobei der andere (der mit dem Seil vorgeschobene) Keil zerbrach. Die Zähne beider Keile zeigten keine wesentlichen Beschädigungen.

C. Fortsetzung zum Versuche B.

Material. Von dem beim Versuche B zerrissenen Seil wurde das beschädigte Ende abgehauen und das Seil nochmals in das Schloß B eingelegt, wobei 2 neue Keile mit je zwei Reihen größerer Zähne verwendet wurden. Ein Dorn wurde hierbei in den Kopf des Seiles nicht eingetrieben.

Versuchsergebnisse. Nur die Verschiebungen des Seiles oder der Keile in den Schlössern wurden nach Maßgabe der Fig. 2 gemessen.

Belastung kg	Längen-Abmessungen in mm a absolut	a Differenz	b absolut	b Differenz	c absolut	c Differenz	Bemerkungen
100	—	—	34,3	—	38,5	—	
500	—	—	34,3	0,0	38,7	0,2	
1000	—	—	34,5	0,2	38,8	0,1	
1500	—	—	34,6	0,1	39,0	0,2	
2000	—	—	34,8	0,2	40,2	1,2	

Digitized by Google

Belastung kg	Längen-Abmessungen in mm						Bemerkungen
	a		b		c		
	absolut	Differenz	absolut	Differenz	absolut	Differenz	
2500	—	—	34,6	−0,2	41,6	1,4	
3000	—	—	34,7	0,1	43,0	1,4	
3500	—	—	35,0	0,3	46,5	3,5	
4000	—	—	—	—	—	—	Bevor diese Belastung erreicht war, riß im Schloß B zunächst eine Litze und bei weiterem Vorgehen mit dem Preßkolben rissen noch 2 Litzen.

Besprechung der Ergebnisse der Versuche B und C. Ein Durchziehen des Seiles wurde bei diesen Versuchen nicht beobachtet, dagegen schienen die Seilbrüche durch das Abkneifen einzelner Drähte verursacht zu sein. Um den Einfluß einer derartigen Seilbeschädigung auf die Bruchfestigkeit des Seiles festzustellen, wurde ein zweites Probestück desselben Seiles mit Hülfe der Einspannvorrichtungen der Versuchs-Anstalt — System Kortüm — gepüft. Der Bruch erfolgte auch hier am Keil und zwar bei 3800 kg Belastung. Weiter wurden Zerreißversuche mit den einzelnen Drähten aus einer dritten Probe desselben Seiles angestellt, und hierbei wurde die Festigkeit der Drähte auf etwa 71 kg ermittelt. Hieraus berechnet sich die Festigkeit sämmtlicher im Seil enthaltenen 49 Drähte auf $49 \times 71 = 3479$ kg. Eine wesentliche Herabminderung der Bruchfestigkeit des Seiles scheint demnach durch das Eingreifen der Zähne nicht stattgehabt zu haben.

Da das Material des zu den vorbeschriebenen Versuchen B und C verwendeten Seiles demjenigen des bei dem Unfall los gewordenen Seiles an Härte bedeutend nachstand, so erschien es von Werth, den Versuch mit einem Seil aus hartgezogenem Stahldraht zu wiederholen. Um ferner gleichzeitig festzustellen, ob das oben mit A bezeichnete alte Schloß nur für Seile von 16 mm Durchmesser, sondern auch für Seile von 18 mm verwendbar sei, deren eines nach dem Bericht des Königlichen Baurathes Soenderop vom 7. Januar 1886 an dem Ort des Unfalles mit dem Schloß verbunden gewesen ist, wurde der Firma C. Kortüm-Berlin die Lieferung eines Gußstahldrahtseiles von 18 mm Durchmesser in Auftrag gegeben. Der Durchmesser der gelieferten Probe betrug jedoch im Mittel 19 mm, und das Seil konnte daher nicht in das Schloß hineingebracht werden. Von einer nochmaligen Einforderung neuen Probematerials wurde Abstand genommen, um die Erledigung des Auftrages nicht noch weiter hinausschieben zu müssen.

Diese Vorversuche hatten gezeigt, daß die Sicherheit des Kortüm'schen Schlosses in besonders erheblichem Grade von der beim Zusammenfügen desselben beobachteten Sorgfalt abhängt, da durch wiederholtes Nachziehen der Keile und Eintreiben eines Dornes die Festigkeit der Verbindung von der doppelten Nutzbelastung auf den fünffachen Betrag gesteigert werden konnte. Das Abkneifen einzelner Drähte durch die Keilzähne ließ vermuthen, daß auch die Festigkeit des Seiles von Einfluß auf die Sicherheit der Verbindung sein würde.

Digitized by Google

Prüfung von Seilverbindungen verschiedener Konstruktion unter ruhig wirkender Belastung.

I. Arbeitsplan.

Die Aufgabe lautete:

1. Bezüglich des Kortüm'schen Seilschlosses sind die Versuche über den Einfluß der Festigkeit des Seilmaterials auf die Festigkeit der Verbindung (Abkneifen einzelner Drähte durch die Keile) zu vervollständigen.
2. Die Versuche sind auf die Anwendung plötzlicher, stoßartig wirkender Belastung auszudehnen.
3. Es sollen verschiedene Formen der üblichen Seilverbindungen bezüglich ihrer Sicherheit verglichen werden.

Zur Lösung der vorstehenden Aufgaben wurde es als genügend erachtet, die Versuche auf Seile von 18 mm Durchmesser zu beschränken, da diese Seile nach den eingezogenen Erkundigungen bei dem Fahrstuhlbetrieb am häufigsten in Anwendung kommen.

Zu 1. Um den Einfluß der Festigkeit des Seilmateriales auf die Betriebssicherheit des Kortüm'schen Seilschlosses erschöpfend zu erweisen, wurde die Anwendung von drei Seilen gleicher Konstruktion in drei Festigkeitsstufen für das Drahtmaterial als ausreichend angenommen. Es sollten demgemäß Seile aus

a) Holzkohleneisen,

b) Stahldraht,

c) bestem Tiegelgußstahldraht und

d) Schlösser aus der laufenden Fabrikation

zu den Versuchen verwendet und die Kortüm'schen Schlösser mit allen drei Seilarten a—c geprüft werden.

Zu 2. Die Versuche mit stoßweis wirkender Belastung sind aus den im Anfang des Berichtes erwähnten Gründen einstweilen verschoben worden.

Zu 3. Die Versuche zur Vergleichung der Schlösser verschiedener Konstruktion sollten mit dem Seil b aus Stahldraht ausgeführt werden.

Ueber die Versuchsausführung wurde bestimmt, daß im allgemeinen der Vorgang der Prüfung ähnlich, wie bei den unter I mitgetheilten Voruntersuchungen mit dem Kortüm'schen Seilschloß, sein sollte. Hierbei sollten thunlichst solche Verhältnisse der Seilbefestigung gewählt werden, daß alle Einzelheiten und Umstände, welche für die Beurtheilung der Betriebssicherheit von Werth sein konnten, im Ergebniß zum Ausdruck kämen. Alle besonders wichtigen Handhabungen und Erscheinungen beim Einfügen der Seile in die Verbindungstheile, sowie alle Beobachtungen, welche beim Herausnehmen der Seile nach geschehenem Versuch gemacht wurden, sollten aufgezeichnet und in das Protokoll eingetragen werden. In der Regel sollten zwei der zu untersuchenden Seilverbindungen an ein Seilende befestigt und unmittelbar mit einander verglichen werden; hierbei sollte, wenn eine Lösung der Verbindung ohne Zerstörung des Seilen oder der Konstruktion

Digitized by Google

einträte, so lange versucht werden, ob eine bessere Befestigung zu erreichen sein würde, bis die Unmöglichkeit erwiesen wäre, oder ein Bruch stattfände.

Dieser Plan hat indessen nicht immer streng inne gehalten werden können.

II. Versuchsmaterial.

Das Material zu den Versuchen ist größtentheils käuflich erworben, zum Theil aber auch in dankenswerther Weise von den Fabrikanten unentgeltlich zur Verfügung gestellt worden.

a) Die Drahtseile.

Wegen der zweckmäßigsten Konstruktionsform für die den Versuchen zu Grunde zu legenden Drahtseile wurden Verhandlungen mit Fabrikanten von Aufzugseilen gepflogen.

Der Seildurchmesser von 18 mm stand fest. Man hatte von einer Seite wegen der zu erreichenden größeren Seilfestigkeit die Herstellung aus 6 Litzen mit je 7 Drähten von 2 mm Durchmesser mit Hanfseele vorgeschlagen. Da zu befürchten war, daß diese dicken Drähte eine wesentlich geringere Biegsamkeit des Seiles ergeben würden als dünnere, unter den Seilverbindungsstücken aber solche waren, deren Konstruktion eine Biegsamkeit des Seilmateriales wünschenswerth erscheinen ließ, so wurde auch mit Rücksicht darauf, daß das zu der ganzen Untersuchung Anlaß gebende Seil aus dünneren Drähten hergestellt war, die Anwendung von dünnen Drähten in Aussicht genommen und es wurden demgemäß bei der Firma Felten & Guilleaume in Mülheim a/Rh. die in Tab. 1 u. 3 mit a. b. c bezeichneten Seile bezogen. Die Firma hat bereitwilligst diese Seile aus Drähten anfertigen lassen, welche von ihr vor der Verwendung auf Zugfestigkeit geprüft waren, und hat die in Tab. 2 zusammengestellten Werthe mitgetheilt.

Außer den genannten drei Seilen sind noch die Seile e bis f mit den später namhaft zu machenden Seilverbindungen gemeinsam eingeliefert worden. Wo irgend angänglich, sind die Seilfestigkeiten und die Dehnbarkeit in gesonderten Versuchen bestimmt, deren Ergebnisse in Tab. 3 enthalten sind.

Bei der Prüfung der Seile wurde in der in der Versuchs-Anstalt üblichen Weise verfahren. Die Enden der Seilstücke wurden soweit mit dünnen Seilen (Bändseln von 3 bis 3,5 mm Durchmesser) ausgelegt, als sie in die zur Einspannung benutzten großen Einspannvorrichtungen hineinragen. Die Bändsel füllen den zwischen den Litzen verbleibenden Raum so aus, daß die Keilzähne des Schlosses die Drähte nicht beschädigen können. Die Dehnung wird mit dem Anlegemaßstab auf 1 m Meßlänge gemessen. Bei den Seilen d bis f war eine ausführliche Prüfung des Seilmateriales wegen der zu Gebote stehenden geringen Längen der Probestücke nicht möglich.

In den Protokollen und den folgenden Besprechungen sind als Bezeichnung für die einzelnen zur Verwendung gekommenen Seile die Buchstaben a bis f der Tabelle 1 benutzt worden.

Digitized by Google

Tabelle 1.

Konstruktion der benutzten Seile.

Seile a. b. c. von **Felten & Guilleaume** in **Mülheim a. Rh.**

a. Holzkohleneisendraht.
b. Stahldraht.
c. Tiegelgußstahldraht.

						a	b	c
			Jedes Seil besteht aus:					
6 Litzen	1 getheerte Hanfseele	ist rechts geschlagen	Drall von n Litzen	auf 1 m Länge	n =	45	42	43
			Jede Litze besteht aus:					
10 Drähten	1 Drahtseele	ist links geschlagen	Drall von n_1 Drähten	auf 1 m Länge	n_1 =	150	140	140
			Jede Litzenseele besteht aus:					
4 Drähten	—	ist links geschlagen	Drall von n_2 Drähten	auf 1 m Länge	n_2 =	210	170	170
Jeder Draht hat einen mittleren Durchmesser von 1,3 mm.								

Seil d. von der **Amerikanischen Aufzugbau-Gesellschaft Otis Brothers & Co., New-York.**

		Das Seil besteht aus:				
6 Litzen um	1 ungetheerte Hanfseele	rechts geschlagen	Drall von n Litzen	auf 1 m Länge	n =	42 Litzen
		Jede Litze besteht aus:				
12 Drähten um	1 Drahtseele	links geschlagen	Drall von n_1 Drähten	auf 1 m Länge	n_1 =	160 Drähte
		Jede Litzenseele besteht aus:				
6 Drähten um	1 Draht als Seele	links geschlagen	Drall von n_2 Drähten	auf 1 m Länge	n_2 =	160 Drähte
Jeder Draht hat einen mittleren Durchmesser von:						1,3 mm

Seil e. von der **Amerikanischen Aufzugbau-Gesellschaft Otis Brothers & Co., New-York.**

		Das Seil besteht aus:				Material unbekannt
6 Litzen um	1 getheerte Hanfseele	rechts geschlagen	Drall von n Litzen	auf 1 m Länge	n =	56 Litzen
		Jede Litze besteht aus:				
12 Drähten um	1 Drahtseele	links geschlagen	Drall von n_1 Drähten	auf 1 m Länge	n_1 =	200 Drähte
		Jede Litzenseele besteht aus:				
6 Drähten um	1 Draht als Seele	links geschlagen	Drall von n_2 Drähten	auf 1 m Länge	n_2 =	110 Drähte
Jeder Draht hat einen mittleren Durchmesser von						1,0 mm

Digitized by Google

Seil f. von **E. Becker, Berlin N.**

Das Seil besteht aus:						Material unbekannt
7 Litzen um	1 schwach getheerte Hanfseele	rechts geschlagen	Drall von n Litzen	auf 1 m Länge	n =	60 Litzen
Jede Litze besteht aus:						
12 Drähten um	1 schwach getheerte Hanfseele	links geschlagen	Drall von n_1 Drähten	auf 1 m Länge	n_1 =	210 Drähte
Jeder Draht hat einen mittleren Durchmesser von:						1,0 mm

Tabelle 2.

Festigkeiten der zu den Seilen a—c verwendeten Drähte.

Nach den Versuchen auf dem Karlswerk Mülheim a. Rh. haben die Drähte folgende Festigkeiten ergeben.

Seil a. Geglühter Holzkohleneisendraht.		**Seil b.** Extra zäher Stahldraht.		**Seil c.** Bester Patent-Tiegelgußstahldraht.	
58 Drähte à 45 kg	= 2610	7 Drähte à 110 kg	= 770	1 Drähte à 160 kg	= 160
23 „ 46	= 1058	3 „ 111	= 333	2 „ 161	= 322
3 „ 47	= 141	4 „ 112	= 448	6 „ 162	= 972
		9 „ 113	= 1017	2 „ 163	= 326
		18 „ 115	= 2070	8 „ 164	= 1312
		4 „ 116	= 464	7 „ 165	= 1155
		6 „ 117	= 702	4 „ 166	= 664
		8 „ 118	= 944	8 „ 167	= 1336
		6 „ 119	= 714	4 „ 168	= 672
		19 „ 120	= 2280	7 „ 169	= 1183
				8 „ 170	= 1360
				2 „ 171	= 342
				5 „ 172	= 860
				3 „ 173	= 519
				7 „ 174	= 1218
				4 „ 175	= 700
				3 „ 176	= 528
				3 „ 178	= 534
84 Drähte zus. kg	= 3809	84 Drähte zus. kg	= 9742	84 Drähte zus. kg	= 14163

Digitized by Google

Tabelle 3.

Ermittelung der Seilfestigkeiten.

Seil-zeichen	Seil. Gewicht kg/m g	Umfang mm U	Durchmesser mm D	Querschnitt qmm F	Draht Zahl z	Durchmesser mm d	Gesammt-Querschnitt qmm f	Querschnitts-Verhältnis f/F	Ermittelte Bruchlast: sämmtlicher Drähte kg	Versuchs-No.	der Seele kg	Bruch-Dehnung %	Bemerkungen
Seil a	0,99	54	17,2	232	84	1,3	112	0,485	3 892	1	3 700	12,0	Bruch innerhalb der Versuchslänge.
										2	3 400	5,7	„ „ „ „ in einer Litze.
										Mittel =	3 550		
													32,6 kg/qmm Drahtquerschnitt.
Seil b	0,98	55	17,5	241	84	1,3	112	0,465	9 742	1	8 750	5,8	Bruch in der Einspannung. 5 Litzen gleichzeitig.
										2	9 000	5,6	„ in der Versuchslänge. 3 „ „
										3	9 000	5,3	„ an der Einspannung 3 „ „
										4	9 000	5,4	„ in der Versuchslänge 4 „ „
										Mittel =	8 940		
													79,7 kg/qmm Drahtquerschnitt.
Seil c	1,06	57	18,2	260	84	1,3	112	0,430	14 136	1	12 000	(1,4)	Bruch in der Versuchslänge. 2 Litzen gleichzeitig
										2	12 000	(1,7)	„ „ „ 4 „ „
										Mittel =	12 000		
													107,0 kg/qmm Drahtquerschnitt.
Seil d	1,23	61	19,4	296	114	1,3	152	0,514	—	1	9 000	—	Bruch in der Versuchslänge. 1 Litze.
										2	9 250	—	„ „
										Mittel =	9 125		
													60,0 kg/qmm Drahtquerschnitt.
Seil e	0,91	51	16,2	206	114	1,0	80	0,436	—	1	5 500	—	Bruch in der Einspannung. 3 Litzen gleichzeitig.
										2	5 250	—	„ „ Versuchslänge. 2 „ „
										3	5 250	—	„ an der Einspannung. 3 „ „
										4	5 250	—	„ „ „ 2 „ „
										5	5 500	—	„ in der „ 3 „ „
										Mittel =	5 350		
													59,4 kg/qmm Drahtquerschnitt.
Seil f	0,66	52	16,6	216	84	1,0	66	0,305	—	1	11 000	—	Bruch an der Einspannung. Das zur Verfügung stehende Seilende war nur sehr kurz.
													166,0 kg/qmm Drahtquerschnitt.

Anmerkung. Die Schaulinien für die Seile a–c sind in untenstehender Fig. 3 dargestellt.

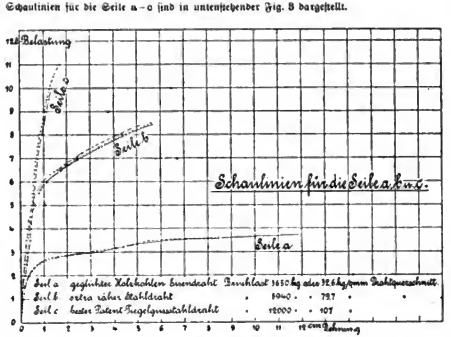


Fig. 3.

Digitized by Google

b) Die Seilverbindungen.

In Tabelle 4 werden die zur Prüfung gelangten Seil-Verbindungen namentlich aufgeführt. Von einer eingehenden Beschreibung soll an dieser Stelle abgesehen werden, dieselbe soll zur Erhöhung der Uebersichtlichkeit vielmehr in den einzelnen Versuchsprotokollen vorausgeschickt werden. Auch die Einzelskizzen werden soviel wie möglich daselbst untergebracht werden.

Tabelle 4.

Zusammenstellung der geprüften Seilverbindungen.

Bezeichnung	Geliefert von	Art und Benennung der Probestücke	Zahl der Stücke
A	C. Kortüm, Berlin N.	Kortüm'sche Seilschlösser älterer Konstruktion .	10
		do. do. mit Keilen (Paar) . .	10
B	Derselbe	do. do. neuer Konstruktion. .	6
C	Felten & Guilleaume, Mülheim a. Rh.	Reibungs-Seilgehänge	4
		do. mit Schellen (Paar) . .	4
D	Dieselben	Konische Seilbüchsen mit Ring	3
E	Dieselben	do. do. zum Vergießen, mit eingeschraubtem Kopf	3
F	Dieselben	Rauschen mit Schellen dazu (4 Paar)	2
G	Otis Brothers & Co., New-York	Gehänge für Seile von 18 mm Durchmesser .	4
H	Dieselben	do. do. von 16 mm Durchmesser .	4
I	C. Kortüm, Berlin N.	Schwanenhälse (auf Bestellung)	5
K	C. F. Wischeropp, Berlin N.	do. englischen Ursprungs	3
L	Dingler'sche Masch.-Fabrik in Zweibrücken	Baumann'sche Seilklemme (2theilig)	1
M	Derselbe	do. Seilklemme (3theilig)	1
N	E. Becker, Berlin N.	Becker'sche Seilverbindungen	2

III. Ergebnisse der Zugversuche.

Alle Versuche sind auf der Werder-Maschine von dem Assistenten Kirsch ausgeführt worden.

Die Einspannung des Seiles erfolgte in der Regel an dem einen Ende mit Hülfe des zu untersuchenden Schlosses, am anderen mit Hülfe der großen Seileinspann-Vorrichtung Kortüm'scher Konstruktion. Diese Einspannvorrichtung ist bereits vor Jahren für die Werder-Maschine beschafft worden und gestattet, Seile von 50 mm Durchmesser und bis zu 100 000 kg Tragfähigkeit zu prüfen. Es wurde stets dafür Sorge getragen, daß die Beweglichkeit der Probe nach allen Richtungen senkrecht zur Richtung der Zugachse hinreichend gesichert war.

Digitized by Google

A. Kortüm'sche Seilschlösser alter Konstruktion.

Es sind 10 Probestücke mit 10 Paar Einlegekeilen vom Fabrikanten C. Kortüm in Berlin geliefert worden. Die Stücke sind mit den Buchstaben a—k bezeichnet.

Konstruktion und Abmessungen der Schlösser ergeben sich aus Fig. 4—7.

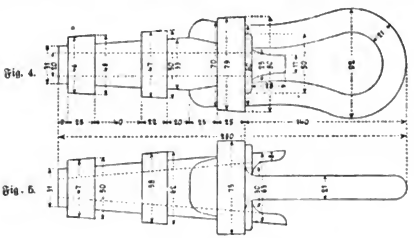


Fig. 4.

Fig. 5.

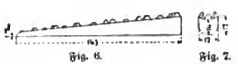


Fig. 6. Fig. 7.

Das Schloß besteht aus einem mit übergezogenen Ringen versehenen Gehäuse von schmiedbarem Guß, welches durch den oberen Ring mit dem Gehängebügel verbunden ist. Die Befestigung des Seiles geschieht durch 2 Beilegekeile, welche an den Greifflächen mit Zähnen versehen wurden, die in Reihen so geordnet sind, daß sie in die Rillen zwischen den Litzen des Seiles eingreifen können. Die Höhe der Zähne nimmt von der Keilspitze aus nach hinten zu, und zwar von 2,5 bis 4,5 mm. Um Sicherheit für eine gute Wirkung der Keile zu haben, war dem Lieferanten ein Probestück vom Seil überwiesen worden. Die Keile sollten sich beim Anspannen des Seiles immer fester in das Gehäuse hineinziehen.

Die Einspannung erfolgte nach Angabe des Lieferanten so, daß das kurz vor dem Ende umbundene Seilende mit der Feile nach Maßgabe von Fig. 8 etwas angespitzt und nach Umwicklung mit Draht in das Schloß eingeführt wurde, nachdem man die erste Umwicklung entfernt hatte. Die sorgfältig nach den Seilwindungen angelegten Keile wurden dann kräftig durch Hammerschläge eingetrieben, bis sie nicht mehr zogen. Das hinten über die Keilenden vorstehende Seilende wurde aufgelöst und die einzelnen Drähte wurden umgebogen. Das Gehäuse ist am hinteren Ende mit 2 Lappen versehen, durch deren Oesen ein Keil getrieben werden muß, wenn das Schloß stoßweiser Beanspruchung ausgesetzt, also ein Schlottern der Keile zu befürchten ist.

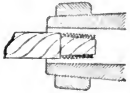


Fig. 8.

Während des Versuchs wurde an der Seilbefestigung nichts geändert; die Keile wurden nicht nachgeschlagen und mußten sich von selbst festziehen. Um das Gleiten der Keile auf ihren Anlageflächen im Gehäuse zu erleichtern, wurden die Keilrücken gehörig geölt.

Digitized by Google

Versuchs-Ergebnisse.

Tabelle 5.

Seil b aus besonders zähem Stahldraht.

Belastung t	Verschiebungen am Schloß a	Verschiebungen am Schloß b	Bemerkungen
0,5	0	0	**Versuch 1.** Schloß a zeigt schon vor dem Versuch am engsten übergezogenen Ringe eine Schweißnaht.
1,0	0	0	
1,5	1,0	1,0	
2,0	2,0	2,0	
2,5	3,5	2,5	
3,0	5,0	4,0	
3,5	6,5	5,0	
4,0	8,0	7,0	
4,5	9,5	8,5	
5,0	11,0	9,5	
5,5	13,0	11,0	
6,0	14,5	12,5	Knacken im Schloß a.
6,5	17,5	14,0	Desgl.
7,0	Bruchlast		spielten eben ein. Bruch des Schlosses. Seil vollkommen unverletzt. Bruchstelle zeigt sehr bedeutende Fehlstellen, ist weißstrahlig und fast gar nicht getempert.
	am Schloß c	am Schloß b	
0,5	0	14,0	**Versuch 2.** An Stelle von Schloß a wird Schloß c eingespannt.
1,0	1,0	—	
1,5	2,0	—	
2,0	2,5	—	
2,5	4,0	—	
3,0	6,0	—	
3,5	7,5	—	
4,0	8,5	—	
4,5	10,0	—	
5,0	11,0	—	
5,5	12,0	—	
6,0	13,5	—	
6,5	14,5	—	
7,0	—	—	Knistern.
9,0	Bruchlast		Bruch des Seils an Schloß b; 3 Litzen rissen gleichzeitig. Das Seil wird wegen des Zusammenschnellens der Litzen locker und für weitere Versuche unbrauchbar. Die Keile sind ganz unversehrt geblieben, obwohl sie nur mit großer Mühe und durch langes und kräftiges Schlagen mit einem schweren Hammer sich lösen lassen. Die Zähne zeigen geringe Schürfungen. Sie haben nicht genau in den Rillen gesessen, was an den Schürfungen am Seil bemerkbar ist.

Digitized by Google

Belastungen t	Verschiebungen am Schloß c	b	Bemerkungen
0,5	0	0	**Versuch 3.** Ein neues Seilstück wird mit Schloß b und c und denselben Keilen, wie bei Versuch 2 verbunden.
1,0	1,0	1,0	
1,5	2,0	2,0	
2,0	4,0	4,0	
2,5	5,5	5,5	
3,0	7,0	7,0	
3,5	9,0	8,5	
4,0	10,5	10,5	
4,5	13,5	12,0	
5,0	14,0	13,5	
5,5	15,0	14,0	
6,0	17,0	16,0	
6,5	18,0	17,5	
7,0	20,0	19,0	*) (9,25 t spielen nicht mehr ein.) Alle Litzen reißen zugleich innerhalb Schloß b, nur drei Drähte hängen noch zusammen. Beide Schlösser unversehrt, nur die Keile sind durch das Herausschlagen nach dem Versuch beschädigt.
7,5	22,0	21,0	
9,0	Bruchlast*)		

Tabelle 6.

Seile a aus geglühtem Holzkohlen-Eisendraht.

Belastungen t	Verschiebungen am Schloß a	b	Bemerkungen
0,5	0	0	**Versuch 4.** Schloß b und c vom Versuch 3. Schloß b mit neuen Keilen, da die alten beim Herausschlagen beschädigt sind.
1,0	1,0	2,0	
1,5	3,0	4,0	
2,0	5,5	6,5	
2,5	8,5	9,5	
2,75	9,5	11,5	
3,00	12,0	14,0	
3,25	14,0	17,0	
3,50	17,0	19,0	ein Draht reißt.
3,70	Bruchlast		Bruch des Seiles innerhalb der Versuchslänge, zwei Litzen nahe am Schloß c.

	am Schloß b	c	Bemerkungen
			Versuch 5. Schlösser und Keile wie beim Versuch 4.
0,5	0	0	
0,75	0,5	0,5	
1,00	1,5	1,5	
1,25	2,0	2,0	
1,50	3,0	3,5	
1,75	4,5	5,5	
2,00	5,5	6,5	
2,25	6,5	7,5	
2,50	8,0	9,5	
2,75	10,0	11,0	
3,00	12,0	13,5	
3,25	15,0	16,0	
3,50	17,0	18,0	
3,60	Bruchlast		2 Litzen reißen in der Versuchslänge, an anderer Stelle reißt kurz vorher ein Draht.

Digitized by Google

Belastungen t	Verschiebungen am Schloß b	c	Bemerkungen
0,5	0	0	**Versuch 6.** Schlösser und Keile wie bei Versuch 4.
1,0	1,0	1,0	
1,5	2,5	2,5	
2,0	5,0	5,0	
2,5	7,0	7,0	
3,0	11,0	10,5	
3,25	13,5	12,5	
3,50	16,0	15,0	*) Bruch mit leichtem, dumpfem Ruck; zuerst reißt eine Litze, gleich darauf die zweite in Mitte der Versuchslänge.
3,60	Bruchlast*)		

Tabelle 7. **Seile c aus Patent-Tiegelgußstahldraht.**

Belastungen t	Verschiebungen am Schloß d	e	Bemerkungen
0,5	0	0	**Versuch 7.** Zwei neue Schlösser d und e mit neuen Keilen.
1,0	1,0	0	
1,5	1,0	2,0	
2,0	3,0	5,0	Knistern; die hinter dem Schloß umgebogenen Drähte biegen sich zurück.
2,5	4,5	8,0	
3,0	6,0	9,0	
3,5	7,0	11,0	
4,0	9,0	12,0	
4,5	10,5	14,0	
5,0	12,0	15,0	
5,5	13,0	16,0	
6,0	15,0	17,0	
6,5	16,0	18,0	Knacken.
7,0	17,0	19,0	
7,5	18,0	20,5	
8,0	19,0	21,0	
8,5	20,5	22,0	*) Schloß d zerreißt im Gehäuse, die Wandung zeigt starke Fehlstellen; schlecht getempert.
10,0	Bruchlast*)		

	am Schloß f	e	
0,5	0	0	**Versuch 8.** Das Seilende mit Schloß d des vorigen Versuches wird abgehauen und mit Schloß f verbunden, zu Schloß f werden neue Keile verwendet. Schloß f zeigt in der Wandung zwischen den beiden größeren Ringen eine Fehlstelle. In Schloß e tritt keine Verschiebung ein, weil es bereits in Versuch 7 mit 10 t belastet war.
1,0	0,5	—	
1,5	1,0	—	
2,0	2,0	—	
2,5	3,0	—	
3,0	5,0	—	
3,5	6,5	—	
4,0	7,8	—	
4,5	9,2	—	
5,0	10,5	—	
5,5	12,0	—	
6,0	13,0	—	
6,5	14,5	—	
7,0	16,0	—	
7,5	17,0	—	
8,0	18,0	—	
8,5	19,0	—	
9,0	—	—	
11,5	Bruchlast		3 Litzen in Schloß e reißen; Schloß f an der Fehlstelle ein Stück aufgerissen.

Digitized by Google

Zu den Versuchsergebnissen ist allgemein zu bemerken, daß die Konstruktion der Keileinlagen vom Fabrikanten in letzter Zeit geändert worden ist. Früher waren die Zähne ohne Rücksicht auf den Drall des Seiles vertheilt, während sie jetzt, wie schon zu Anfang hervorgehoben, dem Drall entsprechend so angeordnet sind, daß die Zähne in die Zwischenräume zwischen den Litzen eingreifen. Die durch die Zähne herbeigeführten Beschädigungen der Seildrähte sind nunmehr nicht so groß, als bei der älteren Konstruktion und man konnte vornehmlich wohl aus diesem Grunde bei der Anwendung verschieden harten Seilmateriales keine bemerkenswerthen Unterschiede bezüglich der schädlichen Wirkung der Keile finden. Die gefundenen Schürfungen und Beschädigungen der Drähte können sehr wohl auch beim Herausschlagen der Keile zum Zwecke des Lösens der Verbindung erzeugt sein. Das Lösen geht oft so schwer von statten, daß man gezwungen ist, das Seil kurz vor dem Schloß abzuschneiden und den Kopf sammt Keilen unter Anwendung eines Vorsatzdornes durch kräftige Hammerschläge zurück zu treiben.

B. Kortüm'sche Seilschlösser neuer Konstruktion.

6 Probeschlösser mit 6 Paar Einlege-Keilen wurden vom Fabrikanten C. Kortüm geliefert. Die Stücke sind mit den Buchstaben a—f bezeichnet:

Konstruktion und Abmessungen ergeben sich aus Fig. 9—14.

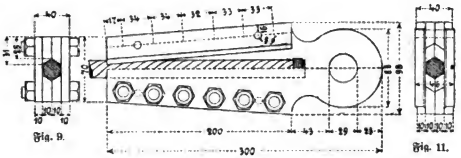


Fig. 9. Fig. 10. Fig. 11.

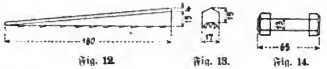


Fig. 12. Fig. 13. Fig. 14.

Der Grundgedanke der Konstruktion ist der gleiche, wie bei dem älteren Schloß. Man hat jedoch das Schloß aus Schmiedeisen und zum Auseinandernehmen hergestellt. Die Keile haben abgeschrägte Rücken; man kann sie nach Entfernung der einen Schloßhälfte gemeinsam mit dem Seil von der Seite her einlegen und alsdann durch Anziehen der Schrauben fest an das Seil andrücken. Nach dem erstmaligen Andrücken werden die Schrauben wieder gelöst, das Seil wird mit den Keilen gemeinsam im Schloß nach vorn verschoben und hierauf werden die Keile durch die Schrauben wider fester an das Seil angepreßt. Die Widerlager für die Keilrücken sind durch schmale Blechstücke gebildet, welche durch die Schrauben und außerdem durch je zwei zwischen den äußersten Schraubenpaaren angebrachte Dorne mit den Seitenwangen des Schlosses verbunden sind.

Beim Einlegen des Seiles wurden die Keile zunächst genau passend in die Seilrillen eingelegt und dann auf vorbeschriebene Weise dreimal fest angezogen,

Google

nachdem ihre Rücken zur Erleichterung dieser Arbeit gehörig eingefettet waren. Nach dem dritten Anziehen hatten die Keile das Bolzenloch freigegeben, so daß der Verbindungsbolzen zur Einspannung in die Maschine durchgeschoben werden konnte.

Bei diesen Schlössern wird das Seil beim Einlegen weniger leicht beschädigt, als es bei der vorbeschriebenen Konstruktion durch das Eintreiben der Keile mit dem Hammer der Fall ist. Auch das Herausnehmen geht wesentlich besser von statten.

Versuchs-Ergebnisse.

Vorbemerkungen: Zur Prüfung wurde Seil b benutzt. Das eine Ende des Probeseiles war mit einem der Schlösser B, das andere mit der gewöhnlichen Seileinspann-Vorrichtung der Versuchs-Anstalt (Kortüm'scher Konstruktion) verbunden. Das Schloß B a war von einem Arbeiter der Firma C. Kortüm, Berlin, am Seil befestigt. In der Seileinspann-Vorrichtung waren die Seilenden mit Bändseln ausgelegt.

Tabelle 8.

Versuchs-Nr.	9	10	11	Bemerkungen
Belastungen	Verschiebungen am Schloß			
t	a	b	c	
0,5	0	0	0	**Versuch 9.** Bruchlast 9,1 t. 3 Litzen rissen am Schloß a. Beim Herausnehmen zeigte sich, daß das Seil zwischen den Keilen an den Stellen zerstört war, wo die ersten Zähne gepackt hatten. Auch einzelne Drähte der nicht völlig zerrissenen Litzen waren eingeschnürt, zerrissen und zerdrückt.
1,0	0,5	1,0	1,0	
1,5	1,0	2,0	7,0	
2,0	3,0	6,5	11,0	
2,5	6,0	9,0	14,0	
3,0	9,0	11,0	17,0	
3,5	12,0	14,0	19,0	
4,0	14,2	15,5	22,0	**Versuch 10.** Bruchlast 9,0 t. 4 Litzen rissen wie beim Versuch 9.
4,5	16,0	17,5	24,0	
5,0	18,0	19,0	26,0	**Versuch 11.** Bruchlast 9,0 t. 4 Litzen rissen wie beim Versuch 9.
5,5	20,0	21,0	27,0	
6,0	21,5	23,0	28,5*)	*) Knistern.
6,5	24,0	25,0	31,0	
7,0	26,5	27,0	33,0	
7,5	29,5	29,0	36,0	
8,0	32,5	32,0	38,5	
8,5	34,56**)	34,0	41,0	**) Bevor 8,75 t zum Einspielen kamen, zog sich das Seil aus dem großen Schloß unmäßig heraus. Nachdem die Keile durch Schläge fest angezogen sind, wurde der Versuch fortgesetzt.
9,0	—	Bruchlast	Bruchlast	
9,1	Bruchlast			

Besonders zu bemerken ist, daß alle Seile an der Eintrittsstelle des Seiles in das Schloß reißen.

C. Reibungs-Seilgehänge.

4 Gehänge nebst 4 Paar Schellen wurden von der Firma Felten & Guilleaume in Mülheim a. Rh. geliefert. Die Stücke sind mit den Buchstaben a—d bezeichnet.

Konstruktion und Abmessungen ergeben sich aus Fig. 15—18.

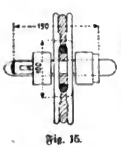


Fig. 15.

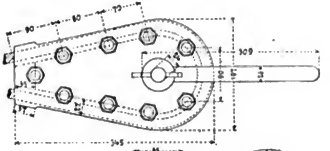


Fig. 16.

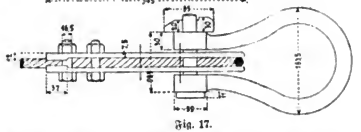


Fig. 17.

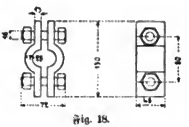


Fig. 18.

Das Reibungsgehänge besteht aus zwei Blechwangen, welche durch eine Reihe von Schrauben gegen das außen um letztere geschlungene Drahtseil gepreßt werden. Die beiden Wangen sind durch Bolzen und Bügel mit dem Fördergeräth verbunden. Sowohl die Reibung des Seilendes zwischen den Wangen als auch diejenige zwischen den beiden zur größeren Sicherheit angebrachten Schellen ist das bei dieser Seilverbindung wirksame Mittel.

Um den Einfluß der einzelnen Theile dieser Seilverbindung genau zur Darstellung zu bringen, sollte zunächst ein Seil ohne Schellen eingespannt und die Belastung bis zum Gleiten oder bis zum Bruch gesteigert werden. Als Gleiten des Seiles sollte hierbei der Zustand bezeichnet werden, in welchem am Seile neben Schraube Nr. 9 Fig. 19 eine sichtbare Verschiebung bemerkbar wurde. An den übrigen Schrauben müssen, wenn die Reibung auf der ganzen Schleifenlänge zur Wirkung kommen soll, schon vorher Verschiebungen stattfinden. In dem Augenblick, wo auch an der letzten Schraube Nr. 9 Gleiten eintritt, ist die Belastung erreicht, bei welcher das Seil aus der Verbindung herausgezogen wird. Dieser Vorgang läßt sich durch wiederholtes Nachziehen der Schrauben weiter hinausschieben.

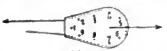


Fig. 19.

Die Vorschrift des Fabrikanten lautet daher:

„Beim Anbringen der Reibungs-Seilgehänge sind die Muttern fest anzuziehen und nach kurzem Gebrauche, wie auch später von Zeit zu Zeit nachzuziehen".

Die Einspannung geschah so, daß das Seilende zunächst lose um die Schrauben geschlungen und die Schleife vor dem Schloß vorläufig durch ein Paar Schellen geschlossen wurde. Nachdem nun das Seil durch eine Belastung von 0,5 t in der Maschine straumm um die Schloßschrauben gezogen war, wurden letztere so fest als möglich angezogen und hierauf die Schellen wieder entfernt.

Digitized by Google

Um die Verschiebungen des Seiles zwischen den Wangen und die Formänderungen des Schlosses messen zu können, wurden vor dem Versuch neben den Schrauben Nr. 2 und 9 Strichmarken a und b auf den Wangen und am Seil angebracht; ferner wurden die Dicken c und d zwischen den Wangenaußenflächen unmittelbar neben denselben Schrauben gemessen und endlich wurde das Weitenmaß e für den Gehängebügel niedergeschrieben. (Vergl. Fig. 20 und 21.)

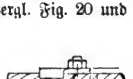


Fig. 20.

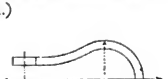


Fig. 21.

Bei den Versuchen wurde der Einspannbolzen der Maschine (70 mm Durchmesser) direkt durch den Bügel gesteckt; es war also die freie Beweglichkeit genügend gesichert.

Versuchs-Ergebnisse.

Vorbemerkungen: Zu den Prüfungen wurde Seil b benutzt.

Versuch 12. Die Schlösser a und b werden benutzt. Die Belastungen werden um Viertelstonnen gesteigert und jedesmal im Einspielen erhalten, bis die Messungen erledigt sind.

Tabelle 9.

Belastungen	Schloß a Abmessungen an den Marken					Schloß b Abmessungen an den Marken					Bemerkungen
t	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	
0,5	0	0	28,3	29,3	188,5	0	0	28,7	29,3	180,0	Bei 1 t haben sich die Schlösser in die Zugrichtung eingestellt.
2,75	1,0	—			188,0	—	—			179,0	
3,00	2,0	—			179,0	2,0	—			177,0	
4,00	3,0	—			174,0	3,0	—			174,0	
5,00	5,5	—			170,0	5,0	—			171,0	
5,75	7,5	0,5			169,0	8,0	0,5			169,0	Nach 5 Min. gemessen, da Verschiebungen b noch zu gering sind.
6,00*)	7,5	0,5			167,0	8,0	0,5			165,0	Die Gehängebolzen biegen sich in Schloß a und b; Seil sitzt noch fest.
7,00	9,5	1,0			162,0	10,5	1,0			162,0	
7,75	Bruch					Bruch					Zuerst reißt eine Litze an Schloß a, gleich darauf 3 Litzen an Schloß b.

*) Bei 6 t sind die Wangenbleche noch unverändert. Es wird entlastet und alles genau untersucht. Außer den bereits beobachteten sind keine Veränderungen nachweislich. Das Seil wird wieder eingelegt und weiter belastet.

Als Veranlassung zur Zerstörung muß der Zwischenraum angesehen werden, welcher zwischen den Lappen *a* (Fig. 22 u. 23) der Wangenbleche verblieb. In diesen Spalt ist eine der Litzen hineingedrängt und beschädigt worden. Beim Herausnehmen des zerrissenen Seiles zeigte sich, daß das Herausgleiten des Seiles auch bei stärkerer Belastung kaum erwartet werden darf, weil sich das Seil zwischen den Schraubenschäften gerade gestreckt hat und polygonartig die Schäfte umschließt. Hierbei sind sogar einzelne Drähte vollkommen zerdrückt.

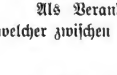


Fig. 22.

Fig. 23.

Versuch 13. Dieselben Schlösser a und b werden auf gleiche Weise, wie bei Versuch 12, mit einem neuen Seile verbunden. Außerdem werden Schellen aufgesetzt nach Maßgabe von Fig. 24. In ähnlicher Weise, wie bei Versuch 12, werden Marken angebracht, an welchen die Seilverschiebungen gemessen werden. (Fig. 24.)

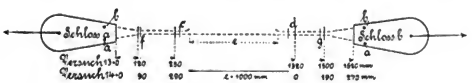


Fig. 24.

Tabelle 10.

Belastungen	Verschiebungen in Millimetern bei								Bemerkungen
	Schloß a			Schloß b			Marke		
t	a	b	e	a	b	e	c	d	
0,5	0	0	162	0	0	162	0	0	Erst bei 4 t zeigt eine Verschiebung an allen Marken den Beginn des Herausziehens an. Das Ventil der Maschine muß 5 Min. lang aufbleiben, ehe ein festes Einspielen stattfindet. Das erste Schellenpaar bei c und d wird fester angezogen.
1,0	—	—		—	—		—	—	
1,5	—	—		—	—		—	—	
2,0	—	—		—	—		—	—	
2,5	—	—		—	—		—	—	
3,0	—	—		—	—		—	—	
3,5	—	—		—	—		—	—	
4,0	1,5	0,5	161	1,0	0	161	4,0	4,0	
4,5	2,0	0,5		2,0	0		7,0	6,5	Schellen bei c und d nachgezogen.
5,0	2,0	0,5	159,5	2,0	0	159	7,5	7,0	
5,5	5,0	0,5		3,5	0		10,0	9,0	
6,0	6,0	0,5	159,5	4,5	0	159	15,5	12,0	
6,5	6,0	0,5		4,5	0		16,0	13,5	Sämmtliche Schrauben nachgezogen.
7,0	7,0	0,5	159,5	5,5	0	159	23,0	17,0	Die Schlösser verschieben sich mehr und mehr (s. Skizze).
7,5	11,0	0,5		8,0	0		35,0	24,0	Die Schellen haben sich im Sinne der Seilaufdrehung gedreht.
8,0	11,0	0,5	159,5	8,0	0	159	36,0	26,0	Wegen Gefahr mit den Messungen aufgehört.
8,75	Bruchlast								Zuerst reißt an der Schelle d 1 Litze, dann 2 andere und die Hanfseele.
Nach dem Bruche			157,5			156,5			

Das Seil ist, abgesehen von den Druckstellen, an den Schraubenbolzen des Schlosses unversehrt. Die Schlösser sind bis auf die oben angeführten Verbiegungen der Bügel und die Verbiegungen der Wangenbleche infolge des Anziehens der Schraube Nr. 1 unverändert geblieben.

Versuch 14. Die Schlösser c und d werden auf gleiche Weise, wie bei Versuch 13, mit einem neuen Seile verbunden. Schellen werden nach Maßgabe von Fig. 24 aufgesetzt. Die Verschiebungen werden an den Marken (vergl. Fig. 24) gemessen.

Digitized by Google

Tabelle 11.

Belastungen	Verschiebungen in Millimetern										Verlängerung des Seiles	Bemerkungen
	Schloß c			Schloß d			Schellen					
t	a	b	e	a	b	e	c	f	d	g	e	
0,5	0	0	183,5	0	0	179	0	0	0	0	0	
1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
2,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,5	
2,5	—	—	183	—	—	179	—	—	—	—	1,0	Gehängebolzen biegt sich.
3,0	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	—	1,5	Gehängebolzen wird krumm.
3,5	—	—	183	—	—	178	—	—	2,0*)	—	2,0	*) Schelle d angezogen.
4,0	—	—	—	—	—	—	1,0	—	2,0	—	2,0	
4,5	0,5	—	180	—	—	176	1,5	1,0	2,0	—	2,5	
5,0	0,5	—	—	0,5	—	—	2,0	1,5	2,0	—	3,0	
5,5	1,0	—	173	1,0	—	170	5,0	3,0*)	3,0	1,0	5,0	*) Schelle f angezogen.
6,0	2,0	—	—	1,0	—	—	6,0	4,0	5,0	2,5	9,0	
6,5	2,0	0,5	165	2,0	0,5	164	7,0	5,0	7,5	5,0	15,0	
7,0	4,0	0,5	—	3,0	0,5	—	15,0	10,0	nicht meßbar	16,0	23,0	Schlösser stellen sich zur Zugrichtung ein, wie bei Versuch 13; Knistern im Seil.
8,75	Bruchlast											Zuerst reißt an Schelle d 1 Litze, dann 2 andere.

Nach dem Bruche ist das Maß e beim Schlosse c = 153,5 und bei Schloß d = 153,0 mm. Einige Schloßschrauben sind im Gewinde zerdrückt, weil die Löcher in den beiden Wangenblechen nicht genau zu einander passen und folglich beim Anziehen aller Schrauben die nicht passenden Bolzen seitliche Pressungen erhalten. Das Seil hat sich wieder polygonal um die Schraubenbolzen gelegt; besonders an den stärksten Knickpunkten bei den Schrauben 6 (Fig. 16) sind einige Drähte zerdrückt.

Im Allgemeinen ist zu den vorstehenden Versuchsergebnissen zu bemerken, daß sowohl Schloß, wie Schellen sich im Verlauf des Versuches schief einstellen — ersteres, weil die Austrittsstelle des Seiles aus dem Schloß nicht in die Zug-Mittellinie fällt und letztere, weil sich die beiden Seilenden gegen einander in entgegengesetzter Richtung verschieben. Durch das Schiefstellen wird die abkneifende Einwirkung der Schloß- und Schellenkanten vermehrt; der Bruch des Seiles tritt deswegen an diesen Stellen ein. Die Gehängebügel zeigen wegen ihres großen Radius erhebliche Verbiegungen. Der Gehängebolzen wird bei 3,0 t Belastung bereits krumm.

D. Konische Seilbüchsen mit eingelegtem Ring.

Drei Seilbüchsen mit Ringen wurden von der Firma Felten & Guilleaume geliefert. Die Stücke sind mit den Buchstaben a—c bezeichnet.

Konstruktion und Abmessungen ergeben sich aus Fig. 25 und 26.

Bei dieser Seilverbindung wird das Seilende in einem konischen Gehäuse befestigt, indem man es dem letzteren entsprechend konisch gestaltet. Zu dem Zwecke wird über das Seilende ein Ring von konischem Querschnitt geschoben, über welchen die aus dem Seil gelösten Drahtenden nach außen umgebogen werden. Hierbei schneidet man letztere verschieden lang ab und umwickelt schließlich das Ganze mit Bindedraht, so daß ein zum Schloß passender Konus entsteht. Bei Schloß a wurden von den 6×14 Drähten je 14 Stück um $^5/_6$, $^4/_6$, $^3/_6$, $^2/_6$ und $^1/_6$ der Schloßlänge (114 mm) gekürzt und über den Ring so umgebogen, daß die unverkürzten 14 Drähte bis vorn an die Schloßmündung reichten (Fig. 27). Bei Schloß b wurde das Maß der Verkürzung etwas kleiner gewählt.

Fig. 25

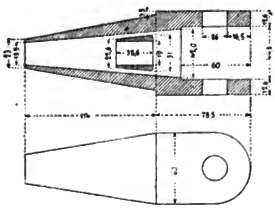


Fig. 26.

Da bei dieser Art von Seilverbindungen die Güte der Zusammenfügung eine wesentliche Rolle spielt, so sollte dieser Umstand möglichst zum Ausdruck kommen und deswegen an Stelle des versagenden Schlosses jedesmal ein frisch eingespanntes gesetzt werden.

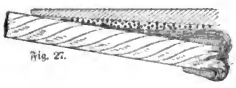


Fig. 27.

Versuchs-Ergebnisse.

Zu den Prüfungen wurde Seil b benutzt.

Tabelle 12.

Belastungen t	Verschiebungen am Schloß a	Verschiebungen am Schloß b	Bemerkungen
0,5	0	0	**Versuch 15.** Seilbüchse a und b.
1,0	8	6	
1,5	16	11,5	
2,0	20	15	
2,5	23,5	18,5	
3,0	27	21	Knistern.
3,5	30	23	
4,0	33	25	Erneutes Knistern. Seil zieht sich aus Schloß a heraus. Alle Drähte sind gemäß Fig. 28 am oberen Rande des eingelegten Ringes abgerissen. Formänderungen an den Büchsen waren beim Wiederausmessen nicht nachweisbar.

Fig. 28

Digitized by Google

Belastungen t	Verschiebungen am Schloß a	b	Bemerkungen
0,5	0	0	**Versuch 16.** Schloß a wird nochmals genau so, wie vorher Schloß b eingespannt.
1,0	0	—	
1,5	4	—	
2,0	12	—	
2,5	19,5	—	Bei Schloß a zieht sich das Seil soweit heraus, daß die Umwickelungen sichtbar werden.
3,0	29	—	
3,5	36	—	
4,0	40	—	
4,5	43	0,5	
5,0	45,5	2	Bei 5,25 t Knistern im Schloß b.
5,5	47,5	5	
5,75	50	6	
6,0	51	7	*) Bruch im Schloß a, wie beim Versuch 15, untere Oeffnung der Büchse von 18,5 auf 19,5 mm vom Seil aufgerieben.
6,25	Bruchlast *)		
0,5	0	0	**Versuch 17.** Schloß a wird nochmals befestigt.
1,0	8	—	
1,5	18	—	
2,0	23	—	
2,5	29	—	
3,0	32	—	
3,5	37	—	Knistern im Schloß a.
4,0	45	0	
4,25	Bruchlast		Bruch im Schloß a, wie beim Versuch 15. Nach dem Herausnehmen zeigt sich auf der konischen Leibung im Innern des Schlosses a ein Vorsprung von etwa 1,5 mm Dicke, welcher wahrscheinlich das Festziehen verhinderte. Deswegen konnte der zur Erzielung einer ausreichenden Reibung nothwendige Seitendruck nicht erzeugt werden und das Seil hing nur an den Drähten am inneren Ring. Da sich die Unebenheit nicht abarbeiten läßt, so wird bei der weiteren Prüfung Schloß a durch Schloß c ersetzt. Die Einspannung geschieht wie bei Schloß b.
	c	b	
0,5	0	0	**Versuch 18.** Schloß c wird an Stelle von Schloß a befestigt.
1,0	6	—	
1,5	14	—	
2,0	21	—	
2,5	25	—	
3,0	28,5	—	
3,5	32	—	
4,0	35	—	
4,5	38	—	
5,0	41	—	
5,5	45	0,5	
6,0	48,5	0,5	Knistern.
6,5	51,5	1,0	Bruchlast. Bruch wie früher (bei Versuch 15) in Schloß c.

Digitized by Google

Belastungen t	Verschiebungen am Schloß c	Verschiebungen am Schloß b	Bemerkungen
0,5	0	0	**Versuch 19.** Schloß c wird wiederum, wie Schloß b eingespannt.
1,0	7	—	
1,5	12	—	
2,0	17	—	
2,5	20	—	
3,0	22	—	
3,5	25	—	
4,0	27	—	
4,5	28	—	
5,0	30	—	
5,5	31	0,5	
6,0	33	0,5	Knistern.
6,5	34,5	0,5	Bruchlast. Bruch wie früher (bei Versuch 15) in Schloß c.
0,5	0	0	**Versuch 20.** Schloß c wird wiederum eingespannt, aber es wird an Stelle der Hanfseele ein cylindrischer eiserner Dorn von 7,3 mm Durchmesser auf etwa $^2/_3$ der Anschlußlänge eingelegt.
1,0	7	—	
1,5	12	—	
2,0	15	—	
2,5	18,5	—	
3,0	21	—	
3,5	23	—	
4,0	25	—	
4,5	26,5	—	
5,0	28	0,5	
5,5	29,5	0,5	Knistern in Schloß c.
6,0	31	0,5	
6,5	33,5	1,0	Bruchlast. Bruch wie früher (bei Versuch 15) in Schloß c. Da der Dorn zu dünn gewesen sein mag, so wird beim nächsten Versuch ein dickerer eingelegt.
0,5	0	0	**Versuch 21.** Schloß c wird wiederum, aber mit einem Dorn von 10 mm Durchmesser eingespannt.
1,0	6	—	
1,5	10	—	
2,0	13,5	—	
2,5	16	—	
3,0	18	—	
3,5	20	—	
4,0	21,5	—	
4,5	23,5	—	
5,0	24,5	—	
5,5	26,5	—	
6,0	27,5	0,5	
6,5	29,0	0,5	
7,0	30,5	2,5	Knistern in Schloß b.
7,25	31,5	4,5	desgl. Bruch wie früher (bei Versuch 15), aber in Schloß b.

Digitized by Google

Belastungen t	Verschiebungen am Schloß c	Verschiebungen am Schloß b	Bemerkungen
0,5	0	0	**Versuch 22.** Schloß b wird jetzt, wie vorher Schloß c, mit einem Dorn
1,0	—	5	von 10 mm Durchmesser wieder eingespannt.
1,5	—	10	
2,0	—	12	
2,5	—	14,5	
3,0	—	17	
3,5	—	18,5	
4,0	—	20	
4,5	—	21,5	
5,0	—	22,5	
5,5	—	25	
6,0	—	26,5	
6,5	—	27,5	
7,0	—	29,5	Knistern in Schloß b.
7,25	0,5	30,5	desgl.
7,50	0,5	33	desgl.
7,75	1,5	33	desgl. und in Schloß c.
8,00	Bruchlast		Bruch in Schloß b, wie früher bei Versuch 15.
0,5	0	0	**Versuch 23.** Das herausgezogene Seilende wird, wie vorher, mit Schloß b
1,0	—	7	verbunden, nur noch etwas kräftiger umwickelt.
1,5	—	13	
2,0	—	16	
2,5	—	19,5	
3,0	—	22	
3,5	—	23,5	
4,0	—	25	
4,5	—	27	
5,0	—	28	
5,5	—	30	
6,0	—	31	
6,5	—	32	Bei 6,75 t Knistern in Schloß b.
7,0	0,5	35	
7,5	0,5	37,5	Bruch wieder in Schloß b, wie früher bei Versuch 15.
0,5	0	0	**Versuch 24.** Das herausgezogene Seilende wird, wie vorher, nur noch
1,0	—	6	stärker umwickelt, mit Schloß b verbunden.
1,5	—	11	
2,0	—	15	
2,5	—	18,5	
3,0	—	20,5	
3,5	—	23	
4,0	—	26	
4,5	—	28,5	
5,0	—	30	
5,5	—	31	
6,0	—	33	
6,5	—	35	
7,0	—	36	
7,5	0	38	Knistern in Schloß b.
7,75	—	—	
8,00	Bruchlast		Bruch wieder in Schloß b wie früher bei Versuch 15. Durch das häufige Herausziehen des zu Bruche gegangenen Seilendes ist die vordere Schloßöffnung auf 19,8 mm aufgerieben.

Digitized by Google

Zu den Versuchsergebnissen ist zu bemerken, daß sie den Einfluß der bei der Zusammenfügung ausgeübten Sorgfalt auf die Festigkeit der Verbindung beweisen; denn man konnte die Bruchfestigkeit von 4 t auf 8 t erhöhen. Die Ursache für die geringe Tragfähigkeit der Verbindung muß vor Allem darin gesucht werden, daß die Seilspannung vorwiegend durch die über den Ring gebogenen und außen an denselben anliegenden Drähte auf die Büchse übertragen wird. Der Ring nimmt den Hauptttheil des durch die konische Form der Büchse erzeugten Seitendruckes auf; das denselben enthaltende Stück des Seilkopfes wird sich deswegen leichter festklemmen, als der in die Büchse eintretende dünnere Theil des umwickelten Seiles. Das Seil wird deshalb verhindert, gleich beim Eintritt einen gehörigen Betrag seiner Spannung durch Reibung an die Büchse abzugeben, und die Folge ist, daß die Drähte an ihren gebogenen Enden am Ringe noch mit großer Spannung hängen. Diese Spannung muß in den einzelnen Drähten nothwendig sehr verschieden hoch sein, weil es ganz unmöglich ist, die Drähte so gleichmäßig über den Ring zu biegen, daß alle gleichzeitig zur Anlage und damit zur Wirkung kommen. Die Folge ist, daß ein Draht nach dem andern abreißt, daher das Knistern während des Versuches und die ganz gleichmäßige Ausbildung des Bruchtrichters an allen Drähten. Man erkennt an den letzten Versuchsergebnissen unschwer, welchen Erfolg nach Einschiebung des Dorns an Stelle der Seele eine festere Umwickelung namentlich des Eintrittsendes hat.

E. Konische Seilbüchsen zum Vergießen.

Drei Seilbüchsen zum Vergießen und das hierzu erforderliche Weißmetall wurde von der Firma Felten & Guilleaume geliefert. Die Stücke sind mit den Buchstaben a—c bezeichnet.

Konstruktion und Abmessungen ergeben sich aus Fig. 29 und 30.

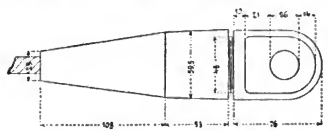


Fig. 29.

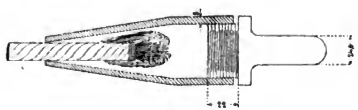


Fig. 30.

Bei dieser Seilverbindung wird das Seilende in seine Drähte aufgelöst. Die Drahtenden werden verzinnt und umgebogen, so daß sie einen wirren, äußerlich konisch

Digitized by Google

geformten Kopf bilden, welcher in den konischen Hohlraum der Seilbüchse paßt. Letztere ist verzinnt und wird nach vorherigem Anwärmen mit dem Seilkopf durch Eingießen von Weißmetall verbunden. Die Gehängeöse wird durch Einschrauben mit der Büchse verbunden.

Versuchs-Ergebnisse.

Zu den Prüfungen wurde Seil b benutzt. Bei allen Versuchen ist das eine Seilende mit der konischen Seilbüchse, daß andere mit der großen Kortüm'schen Einspannvorrichtung verbunden.

Tabelle 13.

Versuch 25. Seilbüchse a.

Bei 3,7 t Lautes Knacken in der Seilbüchse.
„ 6,5 t Das Seil hat sich um 1 mm herausgezogen.
„ 7,0 t Das Seil hat sich um 2 mm herausgezogen.
„ 8,8 t Bruch in der großen Einspannvorrichtung.
Das eingegossene Metall zeigt in der Büchse einen ringförmigen Riß, dessen Durchmesser etwa gleich dem Seildurchmesser ist.

Versuch 26. Seilbüchse b.

Das Seilende, welches in die große Einspannvorrichtung kommt, wird zuvor mit Bändseln ausgelegt.
Bei 6,5 t ist das Seil um 1 mm herausgezogen.
„ 8,8 t ist das Seil um 4 mm herausgezogen.
„ 9,0 t Bruch innerhalb der Versuchslänge — 4 Litzen zerrissen.

Versuch 27. Seilbüchse c.

Bei 8,9 t Bruch innerhalb der Versuchslänge — 3 Litzen zerrissen.

Diese Seilbefestigung läßt offenbar die ganze Seilfestigkeit zur Ausnutzung kommen, denn obwohl bei Versuch 25 in dem eingegossenen Metallkörper eine Trennung wahrscheinlich schon bei 3,7 t eingetreten ist, erfolgte doch der Bruch in der großen Einspannung, weil die Vorsichtsmaßregel versäumt worden ist, das betreffende Seilende mit Bändseln auszulegen. Bei den beiden andern Versuchen erfolgte der Bruch im freien Theil des Seiles. Besonders zu bemerken ist noch, daß eine nennenswerthe Verschiebung des Seiles in seiner Befestigung nicht stattfindet. Das Herausnehmen des Seiles durch Erhitzen geht sehr leicht von statten.

Die Drähte waren vollständig unbeschädigt und zeigten namentlich an den Uebergangsstellen zum Metall keine Einschnürungen, was der Fall gewesen wäre, wenn beim Eingießen des Metalles ein Ausglühen erfolgt wäre. (Vergl. „Untersuchungen über gelöthete Drahtseile" — Mittheilungen aus den technischen Versuchs-Anstalten 1888. Ergänzungsheft II.).

F. Kauschen mit Schellen.

Zwei Kauschen mit 4 Paar Schellen wurden von der Firma Felten & Guilleaume geliefert. Die Stücke sind mit den Buchstaben a und b bezeichnet.

Konstruktion und Abmessungen ergeben sich aus Fig. 31—35.

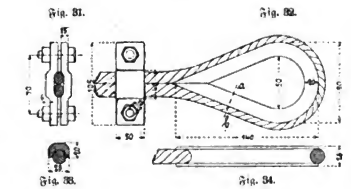


Fig. 31. Fig. 32. Fig. 33. Fig. 34.

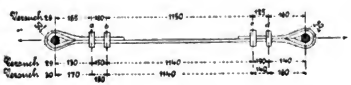


Fig. 35.

Die Kauschen bestehen aus einer schmiedeisernen herzförmigen Einlage, um welche sich die Seilschleife legt, deren Enden durch 2 Paar Schellen zusammen gehalten werden.

Entgegen den früher benutzten Schellen, welche die beiden Seilenden gegen einander preßten, klemmen die hier gebrauchten die beiden Seilenden von der Seite her fest, so daß sie nicht auf einander gepreßt werden.

Versuchs-Ergebnisse.

Zu den Prüfungen wurde Seil b benutzt.

Tabelle 14.

Belastungen t	Verschiebungen bei Marken in mm a	b	c	d	Bemerkungen
0,5	0	0	0	0	**Versuch 28.** Kauschen a und b werden eingelegt, die Schellen so fest wie möglich angezogen. Maße Fig. 35.
1,0	—	—	—	—	
1,5	—	—	—	—	
2,0	—	—	—	—	
2,5	—	—	—	—	
3,0	—	—	—	—	
3,5	0,5	—	—	1	
4,0	2	—	—	1,5	Die Schellen werden nachgezogen.
4,5	—	—	—	—	Die Kauschen stellen sich allmählich schief. Fig. 36.
5,0	—	—	—	—	Die Marken verschwinden zwischen den Schellen.
8,75	Bruchlast				Bruch zwischen den Schellen b, zuerst eine, gleich darauf 2 weitere Litzen gerissen. Die Kauschen sind wenig verbogen. Fig. 37.

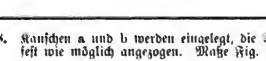


Fig. 36. Fig. 37.

Digitized by Google

Belastungen t	Verschiebungen bei Marken in mm a	b	c	d	Bemerkungen
0,5	0	0	0	0	**Versuch 29.** Kauschen a und b werden wieder benutzt. Maße Fig. 35. Die Marken werden diesmal in hinreichendem Abstande von den Schellen gemacht.
1,0	—	—	—	—	
1,5	—	—	—	—	
2,0	—	—	—	—	
2,5	—	—	—	1	
3,0	—	—	—	1,5	
3,5	—	—	—	2	Schellen angezogen.
4,0	1	—	—	2,5	
4,5	1,5	1	1,5	3	
5,0	2	2	2	4	
5,5	4	4	4	5	Fig. 38.
6,0	6	6	—*	16	* Marke zwischen den Schellen verschwunden.
6,5	11	11	—	18	
7,0	12	12	—	27	Die Kauschen drehen sich beide sehr stark. Fig. 38.
8,75		Bruchlast			Bruch zwischen den Schellen b, zuerst eine, gleich darauf 2 weitere Litzen gerissen. Durch die Schiefstellung sind die Kauschen noch etwas mehr verbogen.
0,5	0	0	0	0	**Versuch 30.** Kauschen a u. b werden wieder benutzt. Maße Fig. 35.
1,0	—	—	—	—	
1,5	—	—	—	—	
2,0	—	—	—	—	
2,5	—	—	—	—	
3,0	—	—	—	—	
3,5	2	2	1	0	
4,0	5	5	1	0	Fig. 39.
4,5	11	11	2	0	
5,0	15	15	3	1	
5,5	17	17	7	5	
6,0	30	30	12	10	Kauschen verbiegen sich stark. Fig. 39.
6,5	34	34	15	14	Die Spitzen klaffen auseinander.
7,0	—	37	24	—	
7,5	—	42	30	—	Beide Kauschen haben die Form Fig. 40. Fig. 40
8,75					Das Seil zieht sich zwischen den Schellen b durch; dieselben können nicht mehr nachgezogen werden, da die Innenflächen bereits vollständig aufeinander liegen. Fig. 41.

Fig. 41.

Die Kausche dient dem Seil nur als Schutz — die eigentliche Verbindung erfolgt durch die Schellen.

Die Kauschen stellten sich stets schief ein und erfuhren entsprechende Verbiegung. Die Schellen kamen immer, wie beim Reibungs-Seilgehänge, in schiefe Lage und waren Ursache, daß das Seil abgekniffen wurde.

Digitized by Google

G. Otis-Gehänge für 18 mm-Seile.

Vier Gehänge, bereits mit Seilstücken von Seil d ausgerüstet, wurden von der Firma Otis Brothers & Co.-New-York geliefert. Die Stücke sind mit den Buchstaben a—d bezeichnet.

Konstruktion und Abmessungen ergeben sich aus Fig. 42—44.

Fig. 42.

Fig. 43.

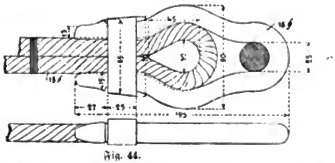


Fig. 44.

Das Seil wird zu einer sehr kleinen Schleife gebogen und in eine handförmige Klammer geschoben, deren innere Bearbeitungsfläche sich eng an die Seilform anschmiegt. Ueber die Klammerenden wird ein Ring geschoben, welcher alsdann von den Nasen an denselben vor dem Herunterrutschen bewahrt wird. In das Innere der Seilschleife wird ein herzförmiges Gußstück eingetrieben. Da die Firma die Versicherung abgab, daß ihre Gehänge stets nur mit Seilen von 16 mm Durchmesser für Aufzüge benutzt werden, so wurde zugestanden, daß die Gehänge mit solchen Seilen ausgerüstet geliefert werden konnten. Zugleich sandte aber die Firma auch Stücke mit Seilen von 18 mm Durchmesser ein, welche beim Versuch die nachstehenden Ergebnisse lieferten.

Versuchs-Ergebnisse.

Vorbemerkungen: Zu den Prüfungen wurden die von der Firma Otis Brothers & Co. gelieferten Seile d von 18 mm Durchmesser benutzt. Die Gehänge waren an dem einen Ende bereits befestigt, das andere Seilende ist in die große Einspannvorrichtung Kortüm'scher Konstruktion eingelegt.

Tabelle 15.

Belastungen t	Seilverschiebung am Ring in mm, Marke b	Seildehnungen $l = 500$ mm	Bemerkungen
0,5	0	0	**Versuch 31.** Gehänge a. Marke wie in Fig. 45.
1,0	16	0,5	
1,5	23	1,0	
2,0	30	1,7	Keil in der Einspannvorrichtung nachgetrieben.
2,5	32	2,3	
3,0	34	2,5	
3,5	37	3,0	
4,0	42	3,3	
4,5	Bruchlast		Der Spannring reißt an der Seite auf. Schlechte Schweißung. Krystallinischer Bruch. Das Seil hat sich im Gehänge weit vorgezogen und einige Drähte sind bereits abgekniffen.

Fig. 45.

Digitized by Google

Belastungen t	Seilverschiebung am Ring in mm Marke a	Marke b	Bemerkungen
0,5	0	0	**Versuch 32.** Gehänge b. Marken wie in Fig. 45.
1,0	—	5	
1,5	—	12	
2,0	—	16	
2,5	—	21	
3,0	2	25	
3,5	2	28	
4,0	2	32	
4,5	Bruchlast		Das Seil wird im Gehänge zerdrückt.
0,5	0	0	**Versuch 33.** Gehänge c. Marken wie in Fig. 45.
1,0	—	10	
1,5	—	16	
2,0	—	20	
2,5	—	24	
3,0	—	26	
3,5	—	30	
4,0	—	32	
4,5	—	34	
5,0	0	40	
5,75	Bruchlast		Das Seil wird im Gehänge zerdrückt.
0,5	0	0	**Versuch 34.** Gehänge d. Marken wie in Fig. 45.
1,0	7	21	
1,5	9	31	
2,0	10	37	
2,5	11	42	
3,0	12	48	
3,5	13	52	
4,0	17	59	Das Seil quillt hinter der Einlage seitlich heraus.
4,25	Bruchlast		Die an der Einlage anliegenden Litzen sind zerrissen.

H. Otis-Gehänge für 16 mm-Seile.

Vier Gehänge, bereits mit Seilstücken von Seil e ausgerüstet, wurden von der Firma Otis Brothers & Co. geliefert. Hiervon sind durch einen Beamten der Firma drei Stück in der Versuchs-Anstalt auseinander genommen. Die Stücke sind mit den Buchstaben a—d bezeichnet.

Konstruktion und Abmessungen ergeben sich aus Fig. 46.

Fig. 46.

Die Wirkungsweise ist genau die gleiche, wie sie unter G beschrieben worden ist. Der Unterschied besteht nur darin, daß die Gehänge H in Schraubenbolzen endigen,

welche zur Verbindung mit dem Fördergeräth dienen, während die Gehänge G eine Oese zur Aufnahme der Verbindungsglieder besitzen. Die Gehänge H sind übrigens mit Rücksicht auf die Zugwirkung einseitig konstruirt, sodaß Seil-Mittellinie und Gehängebolzen-Mitte in eine Linie fallen. In dieser Beziehung war beim ersten Versuch Gehänge b falsch eingespannt worden und mußte daher umgelegt werden. Gleichwohl blieb das Seil am Gehänge b unversehrt, während in Gehänge a, wie in allen bereits von der Firma eingespannten Seilenden, das Seil stark beschädigt war. Mehrere Drähte waren hier ganz abgekniffen, andere stark gedrückt und geschürft.

Versuchs-Ergebnisse.

Zu den Prüfungen wurde Seil e benutzt.

Tabelle 16.

Belastungen t	Verschiebungen am Gehänge a mm	Verschiebungen am Gehänge b mm	Seildehnung l = 100 mm	Bemerkungen
0,5	0	0	0	**Versuch 35.** Gehänge a und b.
1,0	6	7	1	
1,5	14	11	1,5	
2,0	21	13	2,0	
2,5	28	16	2,7	
3,0	35	22	3,5	Bruch. Das Seil wird an der Einlage des Gehänges zerdrückt, und zwar da, wo sich die Litze in den Zwischenraum zwischen Einlage und Gehänge zwängte. Fig. 47 bei a.

Fig. 47.

Belastungen t	Gehänge c mm	Gehänge d mm	Seildehnung l = 100 mm	Bemerkungen
				Versuch 36. Gehänge c und d, beide in der Versuchs-Anstalt eingespannt. Das bereits früher eingespannt gewesene Ende liegt im Gehänge d.
0,5	0	0		
1,0	8	2		
1,5	12	5		
2,0	15	7		
2,5	21	11		
3,0	25	14		Am Gehänge c drückt sich die Einlage seitlich heraus.
3,25	Bruchlast			Das Seil ist im Gehänge c, wie bei Versuch 35, abgedrückt.
0,5	0	0		**Versuch 37.** Gehänge c und d mit demselben Seilstück. Gehänge c ist frisch befestigt.
1,0	9	0		
1,5	13	1		
2,0	14	1		
2,5	19	2		
3,0	21	3		
3,25	Bruchlast			Bruch wie bei Versuch 35 und 36, im Gehänge d.

Bei fast allen Versuchen G und H zeigt sich eine sehr frühzeitige Zerstörung der Seile an den Einspannstellen, welche meistens durch Zerrungen der Litzen und Abkneifen von Drähten eingeleitet sind; schon bei Bildung der sehr kleinen Schleife dürfte das

Digitized by Google

Seil leiden. Es ist sehr schwer, beim Heraufschlagen des Sicherungsringes ein Berühren und Beschädigen der Seile mit dem Hammer zu vermeiden. Die Zusammenfügung ist überhaupt nicht so bequem, als es beim ersten Anblick der Konstruktion erscheint. Die Beschädigungen der von der Firma gelieferten Seilenden dürften vorwiegend die vorgenannte Ursache gehabt haben. Eine erhebliche örtliche Pressung erleidet das Seil beim Gehänge G durch die während des Versuches auftretende Verdrehung der herzförmigen Einlage bei a — Fig. 48 —; es dürfte vortheilhaft sein, diese Einlage so lang zu machen, daß die Spitze noch mit zwischen den Spannring tritt. Beim Gehänge H ist die Schiefstellung des Herzens nicht so sehr zu befürchten, weil dasselbe der Zugwirkung des Seiles überhaupt besser Rechnung trägt, indem es von vornherein schief ausgebildet ist. Hierdurch wird auch erreicht, daß die Gehängestange und das Seil in dieselbe Richtung fallen.

Fig. 48.

J. Schwanenhälse (deutsche).

Fünf Schwanenhälse wurden auf besondere Bestellung seitens des Fabrikanten C. Kortüm-Berlin angeblich nach den in der Praxis üblichen Abmessungen angefertigt. Die Stücke sind mit den Buchstaben a—e bezeichnet.

Konstruktion und Abmessungen ergeben sich aus Fig. 49—51.

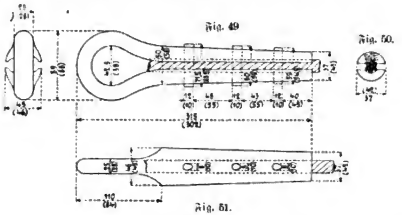


Fig. 49.

Fig. 50.

Fig. 51.

Das Seil wird von zwei Hülsentheilen umfaßt, welche mit der Gehängeöse aus einem Stück geschmiedet sind. Seil und Hülsenlappen sind mit einander durch drei durchgetriebene Niete verbunden. Die Niete haben bei der ersten Form einrunden Querschnitt (Schwanenhälse a, b und c), während sie bei der anderen rund sind (Schwanenhälse d und e) Beide Konstruktionsformen haben etwas abweichende Maße; für die zweite gelten die eingeklammerten Maße von Fig. 49—51.

Für die Vernietung des Seilendes mit dem Schwanenhals wurde durch das eingeschobene Seil und die Nietlöcher ein spitzer Stahldorn getrieben, der oben in die Nietform endete. Der Nietbolzen wurde auf das obere Ende dieses Dornes gesetzt und mit demselben gleichzeitig durch das Seil getrieben. Die Vernietung erfolgte kalt und mit Versenkköpfen.

Nach Vorschrift sollte die Prüfung so geschehen, daß das eine Ende des Seiles in die große Einspannvorrichtung gelegt und das andere mit dem Schwanenhals versehen

Digitized by Google

war, um von vornherein eine Zerstörung in letzterem zu erzielen. Irrthümlicherweise waren an zwei Seilen je zwei Schwanenhälse befestigt. Als man je einen wieder entfernte, fand sich, daß die Dorne mit ovalem Querschnitt die Litze fast unverletzt gelassen, während die runden Dorne mehrfach Drähte zerstört hatten.

Versuchs-Ergebnisse.

Zu den Prüfungen wurde Seil b benutzt.

Tabelle 17.

Belastungen t	Verschiebungen mm	Bemerkungen
0,25	0	**Versuch 38.** Schwanenhals a; eiförmiger Nietenquerschnitt.
1,50	0,5	
2,25	1	
3,0	2	
3,5	3,5	
4,0	7	Knacken. — Die Waage sinkt beim Schließen des Ventils sofort.
4,5	12	Knacken. — Drähte reißen innerhalb des Schwanenhalses; nach dem Reißen einer Litze zieht sich das Seil unter Drehung heraus.
0,25	0	**Versuch 39.** Schwanenhals b; eiförmiger Nietenquerschnitt.
1,5	0,5	
2,5	1	
3,0	2	
3,5	3	
4,0	4	
4,5	5,5	
4,75	8	Knacken.
5,0	—	Bruchlast. Am ersten Niet reißt eine Litze, dann zieht sich das Seil heraus.
0,25	0	**Versuch 40.** Schwanenhals c; eiförmiger Nietenquerschnitt.
3,0	0,5	
3,5	1	
4,0	2	
4,5	3	
5,0	4	
5,5	6,5	
6,0	—	Bruchlast. Nach vorhergegangenem Knacken reißt eine Litze im Schwanenhals.
0,25	0	**Versuch 41.** Schwanenhals d; kreisförmiger Nietenquerschnitt.
1	0,5	
2	1	
2,5	1,5	
3	3	Knistern.
3,5	6	
4	9	
4,25	—	Bruchlast. Keine Litze ist völlig durchgerissen, das Seil zieht sich heraus.

Digitized by Google

Belastungen t	Verschiebungen mm	Bemerkungen
0,25	0	**Versuch 42.** Schwanenhals e; kreisförmiger Nietenquerschnitt.
2,0	0,5	
2,5	1	
3,0	1,5	
3,5	3	
3,75	—	Knistern.
4,0	5	
4,50	7	
4,75	—	Knacken. Bruch im Innern des Schwanenhalses.
0,25	0	**Versuch 43.** Schwanenhals e; kreisförmiger Nietenquerschnitt.
1,5	1	
2,0	2	
2,5	6	
2,75	—	Knistern.
3,0	9	
3,5	14	
3,75	—	Knacken.
4,0	—	Bruch innerhalb des Schwanenhalses.

Die Schwanenhälse mit Nieten von eiförmigem Querschnitt zerstören die Drähte weniger und scheinen eine etwas sicherere Verbindung abzugeben, als diejenigen mit kreisrunden Nieten.

K. Schwanenhälse (englische).

Drei Schwanenhälse wurden durch die Firma C. F. Wischeropp-Berlin aus England bezogen. Die Stücke sind mit den Buchstaben a—c bezeichnet.

Konstruktion und Abmessungen ergeben sich aus Fig. 52—54.

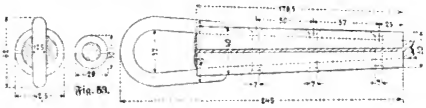


Fig. 52. Fig. 53. Fig. 54.

Die Konstruktion war wesentlich schwächer wie die deutsche, die Arbeit nicht so sauber, als bei letzterer. Hierbei ist ausdrücklich zu bemerken, daß der liefernden Firma die Seilstärke genau angegeben war. Da der Innenraum konisch war, so mußten die Seilenden aufgelöst und durch Umbiegen der Drähte und Umwickelung des so gebildeten Kopfes der Innenraum richtig ausgefüllt werden. Die Niete waren 7 mm stark und versenkt.

Versuchs-Ergebnisse.

Zu den Prüfungen wurde Seil b verwendet.

Tabelle 18.

Belastungen t	Verschiebungen mm	Bemerkungen
0,5	0	**Versuch 44.** Schwanenhals a. Runde Niete 7 mm Durchmesser.
2,0	—	
2,25	—	Die Gehängeöse reißt auf der einen Seite ab, die Bruchfläche zeigt eine Fehlstelle.
0,5	0	**Versuch 45.** Schwanenhals b wie bei Versuch 44.
2,5	1	
2,75	—	Die Gehängeöse reißt, wie bei Versuch 44, Bruch Fehlstellen.
0,5	0	**Versuch 46.** Schwanenhals c wie bei Versuch 44.
2,0	2	
3,0	3	
4,0	5	
4,5	—	Knistern. Die Gehängeöse reißt, wie bei Versuch 44.

L. Baumann'sche Seilklemme (zweitheilig).

Eine Seilklemme wurde von der Dingler'schen Maschinenfabrik in Zweibrücken geliefert.

Konstruktion und Abmessungen ergeben sich aus Fig. 55 und 56.

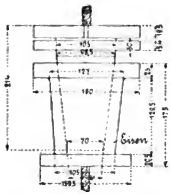


Fig. 55.

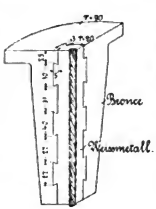


Fig. 56.

Bei der Baumann'schen Seilklemme wird das Seil von drei Keilen festgeklemmt, welche mit einem Ende des zu prüfenden Seiles als Einlage mit einer Legirung ausgegossen sind, so daß das Seil mit allen einzelnen Außendrähten in der Eingußmasse abgebildet ist. Die drei Keile sind zusammen außen kegelförmig abgedreht und stecken in einer kegelförmigen Hülse. Ein über die Keile gestreifter Ring soll dieselben beim Zusammenstellen zusammen halten.

Die Einspannung in die Maschine erfolgte nach Fig. 57 und 58.

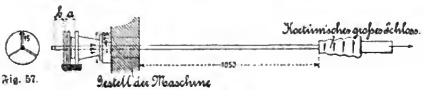


Fig. 57. Fig. 58.

Versuchs-Ergebnisse.

Zu den Prüfungen ist Seil b benutzt worden.

Tabelle 19.

Belastungen t	Verschiebungen an Marken a	b	Bemerkungen
0,5	0	0	**Versuch 47.** Marke a mißt die Verschiebungen der Keile gegen das Schloß; Marke b diejenigen des Seiles gegen die Keile.
1,0	1	—	
1,5	2	—	
2,0	3	—	
2,5	3,8	—	
3,0	4,6	—	
3,5	5,5	—	
4,0	6,0	—	
4,5	7,0	—	
5,0	7,5	—	
5,5	8,0	—	
6,0	8,5	—	
6,5	9,3	—	
7,0	10,3	—	
7,5	10,9	—	Verschiebungen des Seiles im Schloß fanden überhaupt nicht statt.
8,0	11,7	—	
8,5	12,0	—	
8,75	Bruchlast		4 Litzen brechen am Beginn der Einspannung in die Seilklemme. Die Klemme zeigt keine Beschädigungen, das Einspannende des Seiles nirgend Druckstellen.
0,5	0		**Versuch 48.** Mit der gleichen Klemme, wie bei Versuch 47.
1,0	1,3		
1,5	2,6		
2,0	3,8		
2,5	4,8		
3,0	6,4		
3,5	7,3		
4,0	7,8		
4,5	8,8		
5,0	9,3		
5,5	9,8		
6,0	10,6		
6,5	11,3		
7,0	11,8		
7,5	12,3		
8,0	13,3		
8,5	13,8		
9,0	Bruchlast		3 Litzen reißen zugleich an der Klemme. Die Klemme ist vollkommen unversehrt, ebenso das eingespannte Seilende.

Belastungen t	Verschiebungen an Marken a	b	Bemerkungen
0,5	0		**Versuch 49.** Mit der gleichen Klemme, wie bei Versuch 47.
1,0	1,6		
1,5	2,6		
2,0	3,7		
2,5	4,8		
3,0	5,2		
3,5	6,0		
4,0	6,4		
4,5	7,2		
5,0	8,0		
5,5	8,4		
6,0	9,1		
6,5	9,8		
7,0	10,3		
7,5	11,2		
8,0	12,0		
8,5	12,3		
9,0	Bruchlast		3 Litzen reißen zugleich an der Klemme.

M. Baumann'sche Seilklemme (dreitheilig).

Eine Seilklemme wurde von der Dingler'schen Maschinenfabrik in Zweibrücken geliefert.

Konstruktion und Abmessungen ergeben sich aus Fig. 59 und 60.

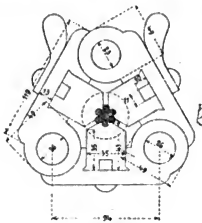


Fig. 59.

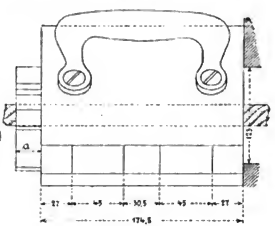


Fig. 60.

Bei dieser Form der Baumann'schen Klemme sind die Keile ebenso, wie bei der Form L, mit Weißmetall ausgegossen, die Keile selbst sitzen aber in einer um 2 Scharniere auseinanderklappbaren dreitheiligen Hülse, welche durch einen in das dritte Scharnier gesteckten Stahlbolzen zusammengehalten werden.

Die Befestigung in der Maschine erfolgt ebenso, wie bei Form L Fig. 57 und 58.

Digitized by Google

Versuchs-Ergebnisse.

Zu den Prüfungen wurde Seil b benutzt.

Tabelle 20.

Belastungen t	Verschiebungen an Marken a	b	Bemerkungen
0,5	0	0	**Versuch 50.**
1,0	1,5	—	
1,5	3,0	—	
2,0	—	—	
2,5	4,0	—	
3,0	4,5	—	
3,5	6,0	—	
4,0	—	—	
4,5	6,5	—	
5,0	8,0	—	
5,5	9,0	—	
6,0	—	—	
6,5	—	—	
7,0	10,0	—	Die Keile gehen ruckweise vor.
7,5	10,5	—	
9,0	Bruchlast		4 Litzen reißen an der Klemme.
0,5	0		**Versuch 51.**
1	1,5		
2	4,0		
3	5,5		
4	7,0		
5	8,5		
6	10,0		Die Keile gehen ruckweise vor.
7	10,5		
8	12,5		
9	Bruchlast		5 Litzen reißen an der Klemme.
0,5	0		**Versuch 52.**
1	1,5		
2	3,5		
3	5,0		
4	7,0		
5	8,5		
6	10,0		
7	11,0		
9	Bruchlast		3 Litzen reißen an der Klemme. Die 4. Litze zeigt an der Seilbruchstelle mehrere eingeschnürte und auch gebrochene Drähte.

Zu bemerken ist, daß bei der Baumann'schen Klemme regelmäßig die Seile unmittelbar an der Eintrittsstelle in die Klemme gerissen sind. Dieser Fall tritt auch

Digitized by Google

bei dem Kortüm'schen Schloß dann leicht ein, wenn die Keile gleich am Anfang zu stark pressen. Bei der konischen Seilbüchse mit Metalleinguß ist dies nicht beobachtet, jedoch ist die Zahl der Versuche sehr klein und es kann wohl erwartet werden, daß bei weiteren Versuchen ein Bruch an der Einspannung mehrfach gefunden sein würde. Die genannten Konstruktionen wirken gleichartig und man erreicht mit ihnen hohe Verbindungsfestigkeiten.

N. Becker'sche Seilverbindung.

Es sind zwei Verbindungen vom Fabrikanten E. Becker-Berlin, bereits mit dem Seil f verbunden, eingesandt worden. Die Stücke sind mit den Buchstaben a und b bezeichnet.

Konstruktion und Abmessungen ergeben sich aus den Fig. 61 und 62.

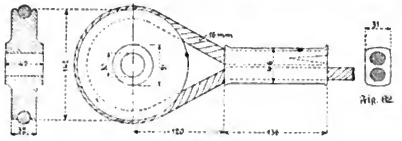


Fig. 61.

Fig. 62.

Das Seil ist um eine Rolle geschlungen und die Schleife durch eine übergeschobene Hülse geschlossen, in welcher es mit Blei vergossen worden ist. In das freie Seilende ist außerdem ein zugespitzter Dorn von 12 mm Durchmesser und 63 mm Länge eingezogen.

Bei den Versuchen sind die freien Seilenden in der großen Seil-Einspannvorrichtung befestigt.

Versuchs-Ergebnisse.

Zu den Prüfungen ist Seil f verwendet.

Tabelle 21.

Belastungen t	Verschiebungen a	Bemerkungen
0,5	0	**Versuch 53.** Markenlage s. Fig. 63.
3,0	1	
4,25	3	Fig. 63
4,50	9	
5,00	20	Bei c ist Verschiebung 4 mm.
8,75		Das Seilende c d zieht sich allmählich ganz heraus — das Seil ist vollkommen unversehrt.
0,5	0	**Versuch 54.** Markenlage s. Fig. 63.
3,5	—	Das Herausziehen beginnt.
5,5	—	Die Wage fällt plötzlich ab, das Ende gleitet mehrere Millimeter mit einem Ruck heraus.
9,75	—	Kommen nach langsamem Herausziehen des Endes wieder zum Einspielen. Gleich darauf reißen 3 Litzen des Seiles am Beginn des eingegossenen Metalls.

Digitized by Google

Schluß-Uebersicht über die Versuchs-Ergebnisse.

Tabelle 22.

Seilverbindung	Benutzt wurde Seil Nr.	Bruch der Verbindung oder der Seile in derselben. Bruchlasten in t, Versuch a	b	c	d	e	Bruch der Seile neben der Verbindung a	b	c	im freien Theil a	b	c	Verbindungsfestigkeit in t Mittel	größte	kleinste	Seilfestigkeit nach Tab. 3	Verhältniß der Verbindungsfestigkeit zur Seilfestigkeit Mittel	größte	kleinste	Bemerkungen.
A. Kortüm'sches Schloß (alte Konstr.)	a	—	—	—	—	—	3,7	—	—	3,6	3,6	—	3,70	3,7	3,7	3,65	101	—	—	
do.	b	7,0*)	—	—	—	—	9,0	9,0	—	—	—	—	8,33	9,0	7,0	8,94	93	100	78	*) Bruch des Schlosses.
do.	c	10,0*)	11,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10,75	11,5	10,0	12,00	90	96	83	*) do.
B. Kortüm'sches Schloß (neue Konstr.)	b	—	—	—	—	—	9,1	9,0	9,0	—	—	—	9,03	9,1	9,0	8,94	101	102	100	
C. Reibungsseilgehänge ohne Schellen	b	—	—	—	—	—	7,75	—	—	—	—	—	7,75	—	—	8,94	78	—	—	
do. mit Schellen	b	—	—	—	—	—	8,75	8,75	—	—	—	—	8,75	8,75	8,75	8,94	98	98	98	
D. Konische Seilbüchse mit Ring .	b	4,0	4,25	6,25	6,5	6,5	—	—	—	—	—	—	6,48	8,0	4,0	8,94	72	89	45	Alle Seile reißen gleichmäßig an den umgebogenen Drahtenden.
	b	6,5	7,25	7,5	8,0	8,0														
E. Konische Seilbüchse mit Einguß	b	—	—	—	—	—	—	—	—	8,8	9,0	8,9	—	—	—	—	100	—	—	
F. Kauschen mit Schellen . . .	b	—	—	8,75*)	—	—	8,75	8,75	—	—	—	—	8,75	8,75	8,75	8,94	98	98	98	*) Schellen konnten nicht genügend nachgezogen werden.
G. Otis-Gehänge (18 mm Durchmesser)	d	4,25	4,5	4,5	5,75	—	—	—	—	—	—	—	4,75	5,75	4,25	9,13	52	63	47	
H. Otis-Gehänge (16 mm Durchmesser)	e	3,0	3,25	3,25	—	—	—	—	—	—	—	—	3,17	3,25	3,0	5,35	59	61	56	
I. Schwanenhälse, deutsche (eiförmiger Nietquerschnitt)	b	4,5	5,0	6,0	—	—	—	—	—	—	—	—	5,17	6,0	4,5	8,94	58	67	50	
Schwanenhälse, deutsche (runder Nietquerschnitt)	b	4,0	4,25	4,75	—	—	—	—	—	—	—	—	4,33	4,75	4,0	8,94	48	53	45	
K. Schwanenhälse, englische*) . .	b	2,25	2,75	4,5	—	—	—	—	—	—	—	—	3,17	4,5	2,25	8,94	35	50	25	*) Wegen zu schwacher Konstruktion alle am Winkel gerissen.
L. Baumann'sche Seilklemme (zweitheilig)	b	—	—	—	—	—	8,75	9,0	9,0	—	—	—	8,92	9,0	8,75	8,94	100	100	98	
M. Baumann'sche Seilklemme (dreitheilig)	d	—	—	—	—	—	9,0	9,0	9,0	—	—	—	9,00	9,0	9,0	8,94	100	100	100	
N. Becker'sche Verbindung	f	8,75	9,75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9,25	9,75	8,75	11,00	84	89	79	

III. Schluß-Uebersicht über die Versuchs-Ergebnisse.

(Hierzu Tabelle 22.)

Mit Bezug auf die Art der erfolgten Zerstörung kann man die im vorigen Abschnitt erhaltenen Versuchsergebnisse in folgende Ordnung bringen.

1. Die Verbindung wirkte so günstig, daß das Seil außerhalb des Körpers zum Bruch kam, und zwar:
   a) das Seil riß in der freien Versuchslänge,
   b) das Seil riß nahe an der Seilverbindung.
2. Die Verbindung wirkte ungünstig dadurch, daß sie
   a) das Seilende zerstörte,
   b) das Seil herausschlüpfen ließ und
   c) im eigenen Körper zu Bruche ging.

In die Gruppe 1 kann man die Mehrzahl der Kortüm'schen Schlösser, das Reibungsgehänge, die konischen Seilbüchsen mit Metalleinguß, die Kauschen mit Schellen und die Baumann'schen Seilklemmen rechnen, während in die Gruppe 2 die konischen Seilbüchsen mit Einlegering, die beiden Arten von Otis-Gehänge, die Schwanenhälse, die Becker'sche Verbindung und zwei der Kortüm'schen Schlösser fallen.

Gruppe 1. Von den hierher gehörigen Seilverbindungen sind unter a einzuordnen: die Kortüm'schen Schlösser alter Konstruktion und die konischen Seilbüchsen mit Einguß. Daß die Kortüm'schen Schlösser neuer Konstruktion nicht gleichfalls Brüche im freien Seil erzeugten, dürfte darin begründet sein, daß die Keile das Seil beim Eintritt in das Schloß schon zu stark gepreßt haben, wenigstens ist nach der früheren Erfahrung der Versuchs-Anstalt bei der alten Konstruktion der Bruch vor der Einspannung oder im Beginn derselben durch diesen Umstand bedingt. Man sieht hieraus, daß die Kortüm'schen Schlösser sich nicht ganz streng in die Gruppe 1a einordnen lassen. Ob dies mit den konischen Seilbüchsen streng der Fall ist, kann nach den wenigen Versuchen nicht wohl entschieden werden und anderweitige Erfahrungen liegen diesseits nicht vor. Es wird vermuthet, daß die Entscheidung, ob bei einer ähnlichen Seilverbindung der Bruch im freien Seil eintritt oder nicht, von der Art des zum Ausgießen benutzten Metalles abhängen wird. Ist dieses Metall sehr wenig dehnbar (bildsam), so ist der Fall denkbar, daß alle Drähte gleich beim Eintritt in das Metall ihre Zugspannung auf letzteres und auf die Büchse übertragen. Die Einspannung wird wie ein scharf abgesetzter Kopf an einem Probestabe wirken. Jede Biegung und seitliche Beanspruchung wird erhebliche Spannungserhöhungen im Uebergangsquerschnitt erzeugen und der Bruch tritt, wie beim Probestab mit scharf abgesetztem Kopf, leicht an der Einspannstelle ein. Ist das Eingußmaterial etwas weicher und bildsamer, so wird die Uebertragung der Seilspannung auf die Büchse mehr in das Innere des Schloßkörpers verlegt und geschieht allmählich. Die Biegungen an dem Eingange in das Schloß können gleichfalls nicht so scharf werden, das Seil wird also hier nicht ungünstiger beansprucht, als in der Mitte, und nun tritt der Bruch mit Wahrscheinlichkeit im freien Seil ein, weil hier die Querschnittsverminderung nicht wie im Schloß durch Verhinderung der Längen-

Digitized by Google

ausdehnung beeinträchtigt ist, und weil an sich die Wahrscheinlichkeit, daß die schwächste Stelle im freien Seile liegt, größer ist, als daß sie gerade am Ende sich findet. Ist die Eingußmasse zu weich (wie bei der Becker'schen Verbindung), so zieht sich das Seil heraus. Man hat bei Auswahl des Metalles zum Ausgießen aber auch noch darauf zu achten, daß der Schmelzpunkt der Legirung an sich nicht so hoch liegt und ferner, daß das Metall nicht so heiß eingegossen oder das Schloß nicht so stark vorgewärmt wird, daß die Festigkeit der Drähte an der Einmündungsstelle etwa durch Ausglühwirkungen sich vermindert. Auch unter diesen Umständen tritt ein vorzeitiger Bruch des Seiles an der Einspannstelle ein.

Bei den vorstehend genannten Seilverbindungen tritt das Seil aus dem Schloß genau in der Zugrichtung heraus und erfährt durch Erzeugung von Biegungsmomenten infolge ungleicher Spannungsvertheilung keine vermehrte Beanspruchung. Bei Konstruktionen der Gruppe 1b ist das Gleiche der Fall wie bei der Baumann'schen Seilklemme. Bei beiden Konstruktionsformen derselben ist das Seil stets nahe der Einspannung gerissen und man wird die Begründung hierfür wohl in dem Vorausgeführten suchen müssen. Bei den beiden andern hierher gehörigen Konstruktionen, dem Reibungsseilgehänge und den Kauschen mit Schellen tritt immer eine einseitige Beanspruchung der einzelnen Theile der Verbindung ein, die Seilachse geht nicht von Anfang an durch die Angriffspunkte der Kraft, die Theile der Verbindung stellen sich demgemäß nach und nach schief ein, was durch die Reibungswirkung und Spannungsunterschiede des Seiles zum Theil noch unterstützt wird. Ein Gleiches ist mit den Schellen der Fall und man findet durchweg, daß die Kanten, welche schließlich zum scharfen Anlegen an das Seil kommen, das letztere so stark auf Biegung beanspruchen oder gar einzelne Drähte abkneifen, daß nunmehr ein vorzeitiger Bruch an diesen überangestrengten Stellen eintreten muß.

Hieraus erklären sich ganz gut die nachstehenden

Festigkeits-Verhältnisse der Gruppe 1.

Benennung der Verbindungen	Abtheilung	Festigkeit der Verbindung in % der Seilfestigkeit
1. Kortüm'sches Schloß (wenn man von den beiden zerbrochenen fehlerhaften Kortüm'schen Schlössern Abstand nimmt, welche nur 78 bez. 83 % der Seilfestigkeit erreichten)	1 a	100
2. Konische Büchse mit Metall-Einguß	1 a	100
3. Baumann'sche Seilklemme (2theilig)	1 b	100
4. Baumann'sche Seilklemme (3theilig)	1 b	100
5. Reibungs-Seilgehänge	1 b	98
6. Kauschen mit Schellen	1 b	98

Man kann also wohl schlechthin sagen, daß in Gruppe 1 die Seilfestigkeit nahezu erreicht werden kann, namentlich wenn das Seil in der Zugachse aus der Verbindung heraustritt. Da die Betriebssicherheit aber ganz wesentlich auch von der Zuverlässigkeit des Materiales abhängt, so ist die schlechte Beschaffenheit zweier Kortüm'scher Schlösser alter

Konstruktion immerhin ein Faktor, welcher zur Vorsicht bei ihrer Anwendung mahnt. Es dürfte wohl abzuwarten sein, ob die Prüfung mit stoßweiser Belastung dieses Urtheil bestätigen wird. Auch über die Betriebssicherheit der Baumann'schen Klemme wird man sich ein endgültiges Urtheil kaum vor Beendigung der Schlagversuche bilden können.

Gruppe 2. Unter a kann man die Schwanenhälse deutschen Ursprungs und die Otis-Gehänge rechnen, welche zugleich die ungünstigsten Ergebnisse geliefert haben. Man darf es wohl besonders hervorheben, daß auch hier vaterländische Erzeugnisse und Konstruktionen den ausländischen überlegen gewesen sind, ganz besonders aber zeigt sich dies beim Vergleich zwischen den Schwanenhälsen deutscher und englischer Konstruktion. Bei den Schwanenhälsen ist es beachtenswerth, daß man einen geringen Vortheil durch Anwendung von Nieten eiförmigen Querschnittes gewinnen kann, weil diese die Seildrähte nicht in dem Maße beschädigen wie die runden Niete. Man hat aber bei allen Versuchen immerhin nahezu nur die halbe Seilfestigkeit erreichen können. Mit Rücksicht auf den Umstand, daß bei den Schwanenhälsen durchschnittlich ein Seilschlupf von nur etwa 10 mm eingetreten ist und das Seil vor dem Einklemmen, Abkneifen und seitlichen Herausschlüpfen einigermaßen geschützt ist, kann man — wenn nicht wider Voraussetzung die Versuche mit Schlagwirkung ein ungünstiges Ergebniß liefern sollten — erwarten, daß die Verbindungsfestigkeit von etwa 50 % auch noch ausreichende Betriebssicherheit gewähren wird. Die Otis-Gehänge versprechen in dieser Beziehung weit weniger günstige Ergebnisse, und trotz der größeren Verbindungsfestigkeit wird man ihnen keine so große Betriebssicherheit, wie den Schwanenhälsen zusprechen dürfen, weil die Theile sich bei weitem leichter lockern, die Seile sich seitlich festklemmen, abkneifen und leichter herausschlüpfen können, als beim Schwanenhals. Die Schlagversuche werden diese Vermuthung voraussichtlich bestätigen.

Zu Gruppe 2b kann man die Becker'sche Verbindung und die konischen Seilbüchsen mit Einlegering rechnen. Die Becker'sche Seilverbindung hätte zweifelsohne mit den Konstruktionen unter Gruppe 1 wetteifern können, wenn zum Vergießen ein etwas weniger bildsames Metall verwendet worden wäre, als es das Blei ist. Bei Anwendung des Bleies beginnt der Seilschlupf bereits mit etwa 3 t Belastung, und obwohl die Festigkeit der Verbindung zu 84 % gefunden worden ist, so ist es doch sehr fraglich, ob man nicht dennoch eine verhältnißmäßig geringere Betriebssicherheit in Ansatz bringen muß, weil man weiß, daß das „Fließen" des Bleies schon bei sehr geringer specifischer Inanspruchnahme (etwa 60—100 kg/qcm) beginnt und langsam aber beständig verläuft. Die Schlagversuche werden auch hierüber wohl Aufklärung geben. Noch weniger Vertrauen haben sich die konischen Seilbüchsen mit Einlegering zu erwerben vermocht. Bei ihnen ist man ganz unsicher, und jedenfalls wird man gut thun, den geringsten Werth der gefundenen Verbindungsfestigkeit, 45 % bei der Abschätzung ihrer Betriebssicherheit in Anschlag zu bringen, umsomehr, als keine Aussicht vorhanden ist, daß sich diese Konstruktion bei den Schlagversuchen in günstigeres Licht stellen wird.

Unter Gruppe 2c fallen zwei Kortüm'sche Schlösser und alle drei englischen Schwanenhälse. Letztere waren augenscheinlich, abgesehen von der offenbaren Schwächlichkeit der Konstruktion, ein durchaus unsauberes und mittelmäßiges Fabrikat, bei welchem durchgängig die Gehängebügel abgerissen sind. Die Kortüm'schen Schlösser alter

Digitized by Google

Konstruktion waren wegen erheblicher Fehlstellen und mangelhafter Temperung zu Bruch gegangen. Der Bruch zeigte noch vollkommen das weißstrahlige Gefüge des rohen Tempergusses.

Die Festigkeitsverhältnisse der Gruppe 2 ergeben sich aus der folgenden Tabelle.

Festigkeits-Verhältnisse der Gruppe 2.

Benennung der Verbindungen	Abtheilung	Festigkeit der Verbindung in % der Seilfestigkeit
a) Ohne Ablenkung des Seiles aus der Zugachse:		
7. Schwanenhälse deutschen Ursprungs	2 a	45—67
8. Schwanenhälse englischen Ursprungs	2 c	25—50
9. Konische Seilbüchse mit Einlegering	2 b	45—89
10. Kortüm'sche Seilschlösser (Versuch 1 und 7)	2 c	78 u. 83
b) Mit Ablenkung des Seiles aus der Zugachse:		
11. Otis-Gehänge	2 a	47—61
12. Becker's Verbindung	2 b	79 u. 89

Man erkennt, daß die Becker'sche Verbindung den übrigen dieser Gruppe überlegen ist und nach Verbesserung ihrer Konstruktion mit den Verbindungen aus Gruppe 1 würde wetteifern können. Läßt man auch noch die beiden Kortüm'schen Schlösser außer Acht, so zeigen alle übrigen Konstruktionen einen ganz erheblichen Fehlbetrag der Verbindungsfestigkeit gegenüber der Seilfestigkeit. Praktisch kann man aber auch mit diesem Ergebnisse zufrieden sein, wenn zugleich die Betriebssicherheit gewährleistet ist (wie es beim Schwanenhals vermuthet werden darf). Denn, da wohl das Seil erheblichen Abnutzungen ausgesetzt ist, nicht so sehr aber die Seilverbindung, so erscheint es gerechtfertigt, für das Seil eine etwa doppelt so hohe Betriebssicherheit zu verlangen, als für die Verbindung.

Verantwortlicher Redacteur: Dr. **Hermann Wedding**. — Verlag von **Julius Springer** in Berlin.

Druck von H. S. Hermann in Berlin.